

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zástavba leteckého meteoradaru na pozemní stanoviště

Installation of the Meteo-radar on Ground Station

Student:

Bc. Jan Bojko

Vedoucí Diplomové Práce:

Doc. František Martinec, CSc.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Bojko**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 40 Letecká doprava
Téma: **Zástavba leteckého meteoradaru na pozemní stanoviště**
Installation of the Meteo-radar on Ground Station
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza leteckého meteoradaru.
2. Analýza možnosti zástavby leteckého meteoradaru na pozemní stanoviště.
3. Návrh technického řešení zástavby leteckého meteoradaru na pozemní stanoviště.
4. Částečná realizace zástavby leteckého meteoradaru na pozemní stanoviště.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Firemní literatura Honeywel, k zastavěnému meteoradaru
2. Kulčák, L.: Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR - FCL - 1. Brno: CERM, s.r.o. Brno 2006.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Bojko

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Návsí 578, 73992, Česká Republika

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Doc. Ing. Františkovi Martincovi, Csc. Za podnětné a trpělivé vedení a to i v případech, kdy řešení nebylo na první pohled hned providitelné. Dále společnosti Honeywell, která mi důvěřovala a vložila do mých rukou sofistikované zařízení bez jakéhokoli dohledu či kontroly.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BOJKO, J. Zástavba leteckého meteoradaru na pozemní stanoviště: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut Dopravy, 2016, 64s. Vedoucí práce: Doc. František Martinec, CSc.

Výstupy této diplomové práce budou součástí rozvoje vývojového centra Honeywell v Brně. Diplomová práce se zabývá instalací palubního meteorologického radaru na střechu budovy. Ve spolupráci s Aplikačními inženýry, jejichž naplní práce, bude mimo jiné využívání palubního meteorologického radaru pro vývoj a testování avionických systému byli specifikovány požadavky kladené na instalaci palubního meteorologického radaru. Na základě těchto požadavků, včetně požadavků právních bylo navrženo řešení instalace, se zaměřením na bezpečí okolních zaměstnanců a zároveň, aby nebyli porušované žádné předpisy pro jeho provoz. Výsledná instalace dle navrhnutého řešení slouží nejen pro testování, ale také jako vodítko pro průchod korporátními procesy pro další projekty.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

BOJKO, J. Installation of the Meteo-radar on Ground Station: Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2016, 64 p. Thesis head: Doc. František Martinec, CSc.

Outcomes of this diploma thesis will be part of developing of development centre Honeywell Brno. Diploma thesis deals with installation of airborne weather radar system on the roof of Honeywell building. In corporate with Applications engineers whose job roles will be among of other things, utilize airborne weather radar for development and testing avionics systems were specified requirements for installation airborne weather system. Base on those requirements including with law requirements were proposed solution for installation, with focusing on safety of local employees, were not break any regulation of radar functionalities. Final installation per proposing design serve not only for testing but also as guide for corporation procedures for next projects.

Obsah

0. Úvod	- 5 -
Cíl	- 6 -
1. Projektové řešení	- 7 -
2. Požadavky a podmínky pro instalaci	- 8 -
2.1. Operativní požadavky	- 8 -
2.1.1. Požadavky aplikačního týmu inženýru APEX	- 8 -
2.1.2. Operační podmínky	- 9 -
2.2. Zákaznické požadavky	- 11 -
2.3. Správa Budovy	- 12 -
2.4. Logistické požadavky	- 12 -
2.5. Bezpečnostní požadavky	- 16 -
2.6. Právní požadavky	- 18 -
2.7. Závěr kapitoly požadavky a podmínky	- 18 -
3. Popis systému a návrh řešení požadavků instalace	- 19 -
3.1. Popis systému Primus APEX	- 19 -
3.2. Palubní meteorologický radar	- 22 -
3.2.1. Analýza palubních meteorologických radarů	- 23 -
3.2.2. Princip radarových měření	- 24 -
3.2.3. Palubní meteorologický radar zobrazení na PFD	- 26 -
3.2.4. Mapování počasí a jeho interpretace	- 26 -
3.3. Ovládání a konfigurace Palubního meteorologického radaru	- 29 -
3.4. Návrh na řešení operativních podmínek	- 31 -
3.4.1. Řešení aplikačních podmínek	- 31 -
3.4.2. Řešení operačních podmínek	- 34 -
3.5. Návrh na řešení logistických podmínek	- 39 -
3.6. Bezpečnostní návrh	- 40 -
3.7. Testovací Plán	- 41 -
3.8. Závěr kapitoly	- 41 -
4. Realizace a testování	- 42 -
4.1. Realizace testovacího plánu	- 51 -
4.2. Možné budoucí poruchy	- 53 -
4.3. Dosažení cílů	- 53 -
4.4. Využití projektu	- 53 -
4.5. Další vývoj projektu	- 53 -

4.6. Výsledné projektové kritéria	- 53 -
5. Závěr	- 55 -
Použitá literatura	- 56 -
Přílohy	- 58 -

Zkratka	Anglická fráze	Česká fráze
A/D	Analog / Digital	Analog / Digital
ABM	Activity Based Management	ABM
AC	Aircraft	Letoun
AGM	Advanced Graphics Module	Grafická karta
APEX	Commercial name	Obchodní název
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated	ARINC
ART	Antenna/Receiver/Transmitter	Vysílací / přijímací anténa
ASCB	Aviation Standard Commercial Bus	Letadlová sběrnice
BCD	Binary Coded Decimal	BCD kód
BNR	Binary Number Representation	Binární číslo
CHMI	Czech Hydrometeorology Institute	Český Hydrometeorologický Ústav
CRC	Cyclic Redundancy Check	Cyklická redundantní kontrola
CTP	CTP Invest, Spol. s.r.o.	CTP Invest, Spol. s.r.o.
CTU	Czech Telecommunication Office	Český Telekomunikační úřad
DFZ	Commercial name	Obchodní název
ENV	Environmental Technology	Vzduchotechnika
EPIC	Commercial name	Obchodní název
FAA	Federal Aviation Administration	Americký úřad pro civilní letectví
FCS	Flight Control System	Systém řízení
HSI	Horizontal Situation Indicator	Horizontální indikátor
ITU	International Telecommunication Union	Mezinárodní telekomunikační úřad
JLL	Jones Lang Lasalle, IP, Inc	Jones Lang Lasalle, IP, Inc
LCD	Light Crystal Display	Zobrazovací jednotka z tekutých krystalů
LX	Lightning	Blesky
MAU	Modular Avionics Unit	Moduly řídicích jednotek
MFD	Multifunction Display	Multifunkční display
PCB	Printed Circuit Board	Deska plošných spojů
PFD	Primary Flight Display	Primární letový display
RDR	Radar	Radar

Zkratka	Anglická fráze	Česká fráze
RNG	Range	Rozsah
RTA	Receiver/Transmitter/Antenna	Vysílací / přijímací anténa
SDI	Source Destination Identifier	Bit pro identifikaci zdroje
SITS	System Integration Test Station	Testovací systém
TAWS	Terrain Awareness And Warning System	Varování před střetem se zemí
US	United States	Spojené státy americké
UTP	Unshielded Twisted Pair	Nestíněné zdvojené dráty
WX	Airborne weather radar	Palubní meteorologický radar
XM	XM Satellite Radio	Satelitní rádio

0. Úvod

Palubní meteorologické radary jsou v současné době jedním z nejdůležitějších součástí vyspělé moderní avioniky, a to nejen u dopravních letadel. Důvodem tohoto je fakt, že palubní meteorologické radary se svojí Dopplerovou funkcí umožňují nejen pozorovat aktuální meteorologické jevy, ale také slouží jako podpůrný systém, například systému TCAS anebo EGPWS. Letouny vybavené palubním meteorologickým radarem umožňují upravit svojí trajektorii tak, aby se vyhnuli nepříznivým meteorologickým podmínkám a bezpečně docílili cíle.

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku zástavby, instalace a testování palubního meteorologického radaru na střechu budovy. Tento projekt je realizován za podpory společnosti Honeywell, pro jejichž účely také slouží. Testování bylo prováděno na vývojových platformách softwaru.

Hlavní motivací této práce bylo především využití technologie palubního meteorologického radaru pro budoucí testování, a díky tomu přinést do vývojového centra více zajímavých projektů. Možnost využití kombinací znalostí z avionických systému, řídicích systému, projektového řízení a bezpečnostního managementu. Aplikovat svoji vyvinutou technologii v nadnárodním vývojovém centru. Mým úkolem je vyjít z podmínek a požadavku pro instalaci palubního meteorologického radaru a jako první umístit na střechu systém, jehož užívání je životu nebezpečné. Seskupit požadavky kladené na instalaci, implementovat požadavky, navrhnout řešení a realizovat řešení.

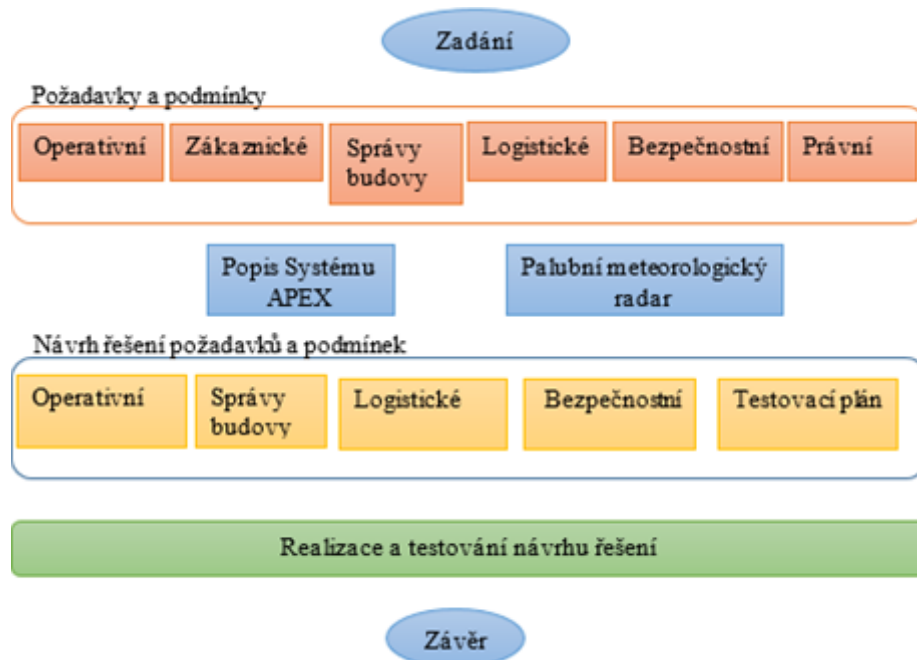
V první části této práce, si představíme projektové řešení, jsou zde diagramy, které zachycují navržené procesy, grafické znázornění plánu a jeho plnění. Druhá část se věnuje specifikací požadavků a podmínek pro tento projekt, které jsem vytvořil na základě konzultací s žadateli a sprostředkovateli. Následující kapitola se věnuje implementací požadavku a vytvoření funkční i finálního řešení. Kapitola číslo čtyři popisuje postupnou realizaci projektu a následné testování. Seznámí čtenáře s korporátními procesy, které jsou potřeba pro realizaci.

Cíl

Cílem této diplomové práce je implementovat veškeré požadavky a podmínky z různých zdrojů do instalace palubního meteorologického radaru. Následně funkční řešení otestovat a přivést do každodenního provozu tak, aby byla zachována bezpečnost zaměstnanců v budově. Součástí této práce je i návrh a realizace příslušenství palubního meteorologického radaru včetně přepínací jednotky.

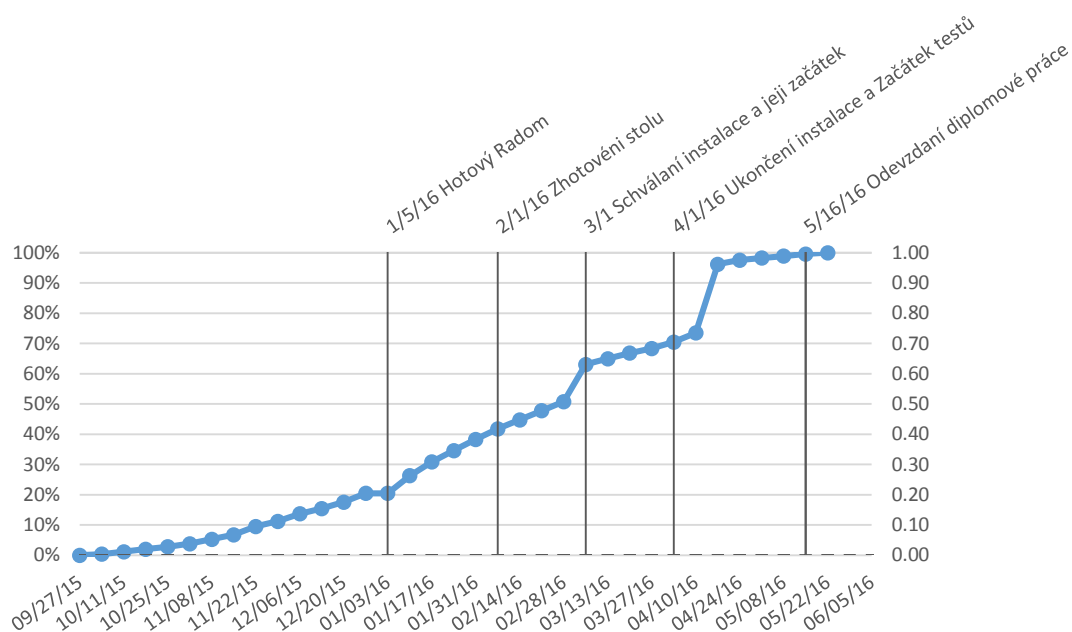
1. Projektové řešení

Kapitola projektové řešení popisuje rozvrstvení instalace palubního meteorologického radaru do několika částí (obr. 1.1). Toto rozvrstvení slouží jako přehled toho, jaké úkony musí být zhotoveny pro instalaci palubního meteorologického radaru.



Obr. 1.1: Diagram

Z diagramu je patrná souhra po sobě jdoucích činnosti, podle kterých byl vytvořen plán a zobrazen v tzv. ABM grafu (obr. 1.2). Příčné čáry popisují tzv. milestony, neboli důležité body v projektové fázi. V kapitole 4.6. je položen graf proti reálnému postupu.



obr. 1.2: ABM

2. Požadavky a podmínky pro instalaci

V této kapitole se budeme věnovat požadavkům a podmínkám, které jsou kladeny pro umístění palubního meteorologického radaru na střechu budovy. Požadavky a podmínky lze dělit do určitých skupin.

- Operativní
- Zákaznické
- Správy budovy
- Logistické
- Bezpečnostní
- Právní

Tyto požadavky vedou k cíli, mít možnost testování reálných dat z palubního meteorologického radaru.

2.1. Operativní požadavky

Operativní požadavky jsou dány vlastnostmi palubního meteorologického radaru a týmu aplikačních inženýrů, jejichž specializací je testování. Přesněji, vyvolat danou událost potažmo chybu nebo novou funkci v kokpitu daného stroje s avionikou Primus APEX™.

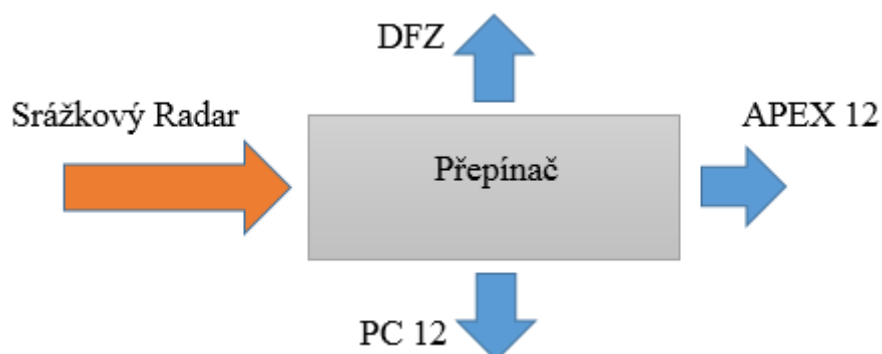
2.1.1. Požadavky aplikačního týmu inženýrů APEX

Do této doby se pouze srážky simulovaly, nikdy nebylo možné využít reálné data pro testování. Simulace byla možná pouze pro laterální skenování nikoli však vertikální a nebylo tak možné precizně otestovat daný úkol a snížit tak pravděpodobnost výskytu nežádoucího selhání za letu v reálném letounu.

Požadavky pro realizaci palubního meteorologického radaru jsou:

- Laterální i vertikální skenování
- Mít možnost celoročního testování
- Úlohou není přesně reprodukovat aktuální srážkovou oblačnost, ale možnost zobrazit počasí v určité formě, není požadována velká přesnost intenzity

- Vytvořit přepínač, který bude přepínat mezi třemi SITS benchi DFZ, APEX 12 a PC 12 (obr. 2.1). Vytvořit logiku, která znemožní vzniku hazardních stavů, například aktivování více než jednoho SITS benche.



Obr. 2.1: Blokové schéma požadované přepínací jednotky

2.1.2. Operační podmínky

Tyto podmínky vymezují způsob provozu palubního meteorologického radaru. Jejich zajištění vede ke správné funkci systému, a předchází tak vzniku hazardní situace.

Teplota

Teplo a tepelná energie je problémem všech moderních prvků avioniky. Je zapotřebí udržet teplotu radaru pod stanovenou maximální operační hranicí, kdy může být radar ještě provozován. Teplotu je nutno monitorovat a udržet v rozmezí -55°C až $+70^{\circ}\text{C}$. Při letních extrémních teplotách, teplota radaru může dosáhnout horní tepelné hranice. [1]

Propojení a napájení

Radar je napájený 28V z letadlové sítě, je nutno brát v úvahu že pro vytvoření elektromagnetických impulzů, musí radar odebírat značné množství elektrického proudu 3A.

Propojení palubního meteorologického radaru je nutné realizovat 50 pinovým vodičem, kde soustavu pinů tvoří série diskrétních signálů, Arinc 429, Arinc 453 a série napájecích pinů. Dále pro potřeby ovládaní externích snímačů a majáků indikujících provoz radaru jsou požadovány další skupiny vodičů.

Arinc 429 stejně jako Arinc 453 definuje standardy požadované pro přenos dat vyvinuty pro potřeby obchodního letectví, také známa jako MARK 33 DITS. ARINC publikuje standardy vydané komisí leteckých inženýrů (AEEC) [2]

Maximální délka není specifikována, záleží to na počtu přijímačů. Většina systému je navržena tak, aby bylo využito maximální délky do 45 m, ale podmínky ARINC 429

dovolují maximální délku až do 90 m. Nutno brát v úvahu pokles napětí na ostatních vodičích. [2]

Výpočet poklesu napětí

$$R_v = \frac{2 * \rho * l}{S}$$

$$R_v = \frac{2 * 0,0169 * 30}{0,25}$$

$$R_v = 4,056 \Omega$$

$$\rho = \text{Hustota mědi}, l = \text{Délka vodiče}, S = \text{průřez vodiče} [3]$$

Podle Ohmova zákona

$$\Delta U = R_v * I$$

$$\Delta U = 4,056 * 0,02$$

$$\Delta U = 0,0812 V$$

$$\Delta U = \text{Úbytek napětí na vedení}, R_v = \text{Odpor vodiče}, I = \text{Proud} [3]$$

Procentuální úbytek napětí

$$U_{\%} = \frac{\Delta U}{U} * 100$$

$$U_{\%} = \frac{0,0812}{5} * 100$$

$$U_{\%} = 1,624 \%$$

$$U_{\%} = \text{Procentuální úbytek napětí}, \Delta U = \text{Úbytek napětí na vedení}, U = \text{Vstupní napětí}$$

Jelikož pracujeme s malými proudy, při ovládání snímačů dochází taky k malému procentuálnímu úbytku napětí. U zdrojového napájení palubního meteorologického radaru se jedná o úbytek napětí až 6V.

Anténa

Je požadována plochá vertikálně polarizovaná 12'' anténa (obr. 2.2), která umožní palubnímu meteorologickému radaru docílit definovaných výkonů. Vyzařovací povrch antény musí být chráněn proti poškrábání nebo promáčknutí.

Aby teoretický dosah palubního meteorologického radaru byl téměř 550 km, musí směrová anténa mít poměrně velkou hodnotu zisku. [7]



Obr 2.2: Plochá 12“ anténa

Vlhkost

Je nutno zajistit, aby radar byl řádně ošetřen proti vníkaní vody a hromadění kondenzátu. Kondenzát by mohl zapříčinit vzniku hazardních stavů, anebo v krajním případě trvale poškození radaru [1]

Přetlakování

Anténa je navržena tak, aby byla provozu schopná od výšky úrovní moře (I pod ní) až do výšky 55 000ft bez přetlakování. [1]

2.2. Zákaznické požadavky

Zákazníky jsou společnosti, jejichž letouny využívají palubní meteorologický radar RDR 2100. Mezi tyto společnosti se řadí výrobci letounu Pilatus, Dornier, Antonov. Ze strany zákazníka není přímým požadavkem instalovat tento palubní meteorologický radar na střešku budovy, ale obecným a častým požadavkem zákazníka je:

- Mít možnost rychle reprodukovat negativní události spojenou s detekcí reálných meteorologických jevů.
- Zákazník při investigaci problému preferuje reálná data. Ač lze data z palubního meteorologického radaru nasimulovat a lze je téměř považovat za data reálná, vždy je přesnější pracovat s naměřenými reálnými daty, protože meteorologická situace je vždy v každém okamžiku jiná.
- Jakýmkoli způsobem přispět k přesnějšímu testování nových avionických systému tak, aby při finálních letových testech nebyli objeveny žádné chyby spojené s palubním meteorologickým radarem.

2.3. Správa Budovy

V této kapitole je popsáno schéma budovy, podmínky a požadavky správy budovy, které podmiňují zástavbu palubního meteorologického radaru.

Budovu má ve vlastnictví CTP park a jakákoli změna nebo zásah musí být předem konzultován se společností CTP, ačkoli střecha je pronajímána třetí osobě z důvodu údržby. Správa budovy má určité normy, které by neměly být porušovány, tyto normy patřičně ovlivňují umístění radaru na střeše budovy a brání jejímu ideálnímu umístění.

Budova se skládá ze čtyř částí, část A, část B, část C a nově od konce roku 2014 i část D. Tyto části jsou navzájem podélně propojené. Plánované umístění srážkového radaru je právě na spojovacím segmentu budovy A s budovou B (obr. 2.3).

Do tohoto místa je vyvedeno potrubí pro průchod kabeláže přímo z laboratoře, kde jsou umístěny SITS benche APEX, DFZ a PC 12 na tomto místě již existuje tzv.: satelitní farma a jsou zde zastavěné i další periferní moduly.

Správa budovy si vyhrazuje přísné podmínky pro umístování objektů na střechu. Tyto podmínky jsou:

- Požaduje kompletní technickou dokumentaci včetně technického popisu
- Vyplněný MOC check list
- Přísné bezpečnostní podmínky – tyto podmínky jsou popsány v podkapitole (2.5) bezpečnostní požadavky
- Objekt musí podléhat schválení
 - Statika – toto schválení zabezpečuje, že je objekt staticky odolný
 - Architekt budovy – radar nenarušuje tvar budovy
- Nelze umístit objekt mimo anténní farmu
- Objekt nelze pevně přichytit šroubovými spoji do střechy budovy
- Revizní kontroly objektu
- Neovlivňování ostatních zařízení na střeše budovy.

Na základě dodání těchto podkladů se CTP park písemně vyjádří o možnosti instalace palubního meteorologického radaru na střechu budovy.

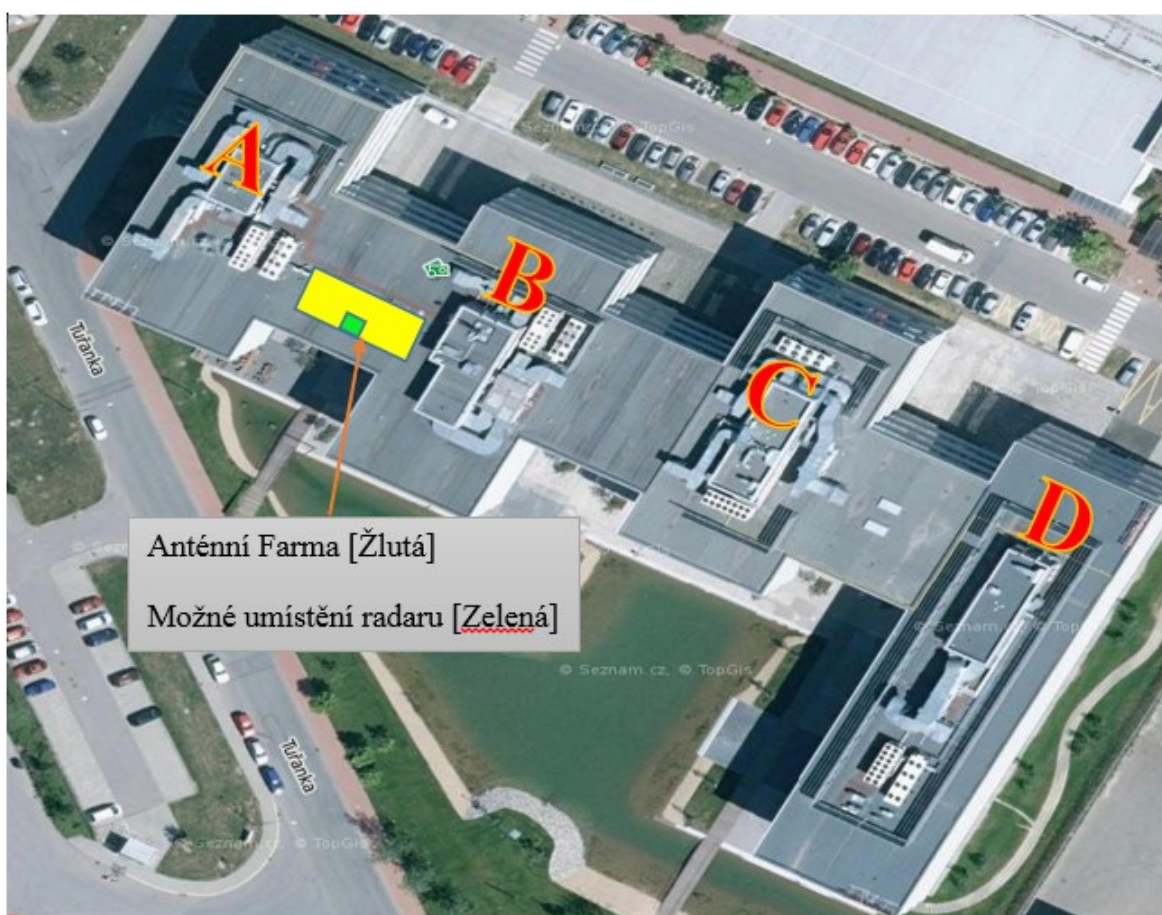
2.4. Logistické požadavky

Logistické podmínky vymezují možnosti umístění, orientaci, zásobování (energii) palubního meteorologického radaru.

Umístění

Umístění radaru je limitováno požadavky správy budovy, které dovoluje umístění pouze v anténní farmě. Úplné umístění, však udává vyzařovací charakteristika palubního meteorologického radaru v rámci anténní farmy (obr. 2.4). Uvnitř tohoto vyzařovacího laloku nesmí být žádná budova.

Prostředí, ve kterém se nachází palubní meteorologický radar, by mělo být odolné proti vibracím a teplu. Neměly by se poblíž nacházet žádné významné generátory zvukových vln. Lokalita má být přístupná pro revidování radaru. Dále radar vysílá vysoko výkonné pulzní elektromagnetické vlnění, které mohou narušovat ostatní přístroje. Všechny tyto aspekty musí být brány v úvahu při umísťování radaru na střechu budovy.

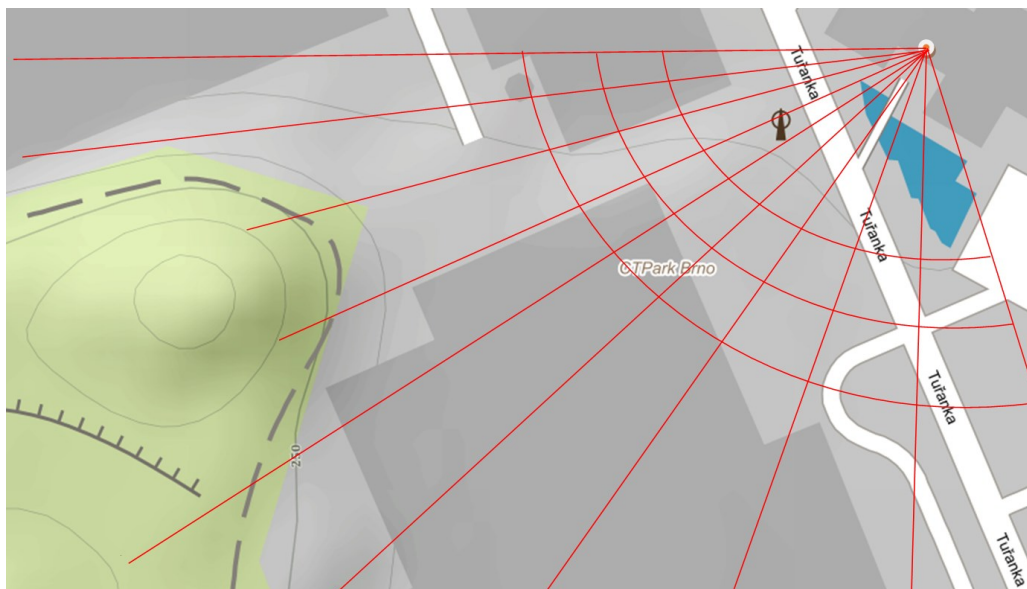


Obr. 2.3: Schéma možného umístění meteo radaru [4]

Orientace

Dolní úvrať palubního meteorologického radaru musí být orientován minimálně 1° nad horizont. [1]

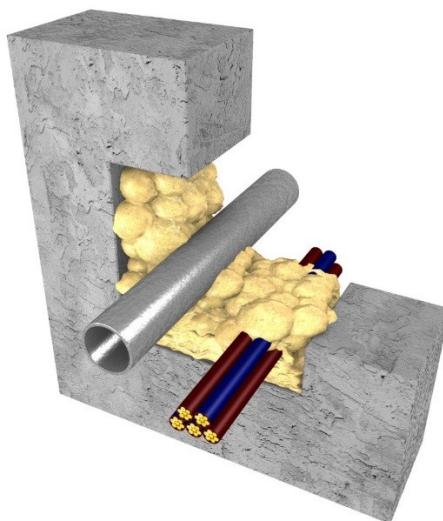
Anténa by z testovacích důvodů měla být orientována na určitou pahorkatinu, která by byla reflektována na zobrazovací jednotce. Tak aby bylo zřejmé, zda radar pracuje.



Obr. 2.4: Schéma orientace radaru [5]

Kabelosvody

Propojení mezi místností Lab 3A a střechou je realizováno kabelosvody napříč třetím a čtvrtým patrem. Požadována délka kabeláže je 30m. Kabelosvody jsou chráněny protipožární pěnou (obr 2.5), při vkládání nové kabeláže je nutno tuto pěnu odstranit. Toto odstranění může provést jen externí firma, která tento úkon prováděla v minulosti.



Obr. 2.5: Kabelosvod obklopený proti požární pěnou [6]

Kabeláž, která ústí na střechu budovy, musí být dále vedena ve žlábcích až k palubnímu meteorologickému radaru. Průtahy povedou dva typy kabelů, první z nich je 50 pinový svazek vodičů pro, který slouží pro komunikaci s radarem. Druhý je UTP kabel pro ovládání senzorů a výstražných zařízení uvnitř radomu

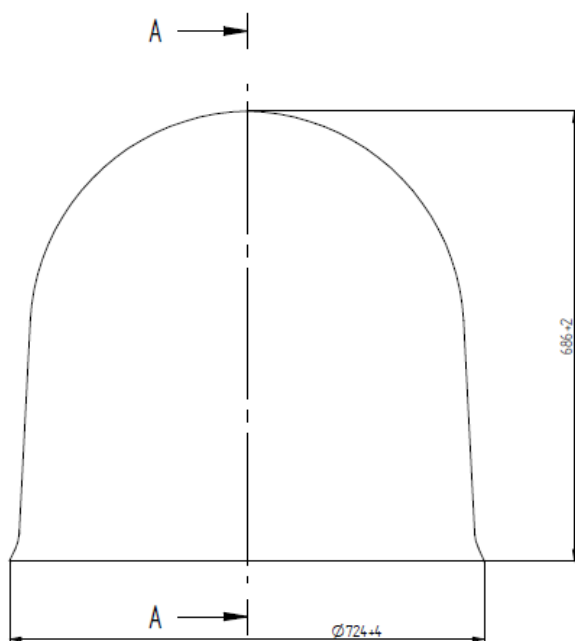
...

Radom

Úkolem radomu (obr. 2.6) je ochránit palubní meteorologický radar před vnějšími vlivy a udržet vně tak podmínky pro jeho provoz. Radom je vytvořen tak aby propouštěl X-band signály, propustnost signálu je větší jak 90%. Pokud by radom měl menší propustnost signálů, jak 90 % došlo by ke zmenšení vyzařovacího úhlu a celkové degradace systému. [7]

Vyhnete se použití metalických nátěrů na radomu.

Je požadováno, aby byl radom poměrně lehký pro snadnou manipulaci maximálně ve dvou lidech a aby bylo možné radom uzamknout ke stolu.



Obr 2.6: Radom

Stůl a podstavec pro palubní meteorologický radar

Je žádoucí navrhnout stabilní stůl pro palubní meteorologický radar a vytvořit určitou přírubu pro radom tak, aby manipulace s radomem byla poměrně jednoduchá. Vně příruba musí být určitý podstavec, který vytvoří náklon radaru. Velikost náklonu musí být korespondující s maximálními polohovatelnými úhly radaru tak, aby při maximální výchylce radar vysílal 1° nad horizont. Pro umístění na střechu musí být stůl vybaven podložkami. Palubní meteorologický radar by se měl nacházet přibližně v jednom metru nad zemí.

Celková koncepce stolu musí být vhodná i pro umístění většího palubního meteorologického radaru RDR 4000, pro budoucí účely. Instalace radaru RDR 4000 není součástí této diplomové práce.

2.5. Bezpečnostní požadavky

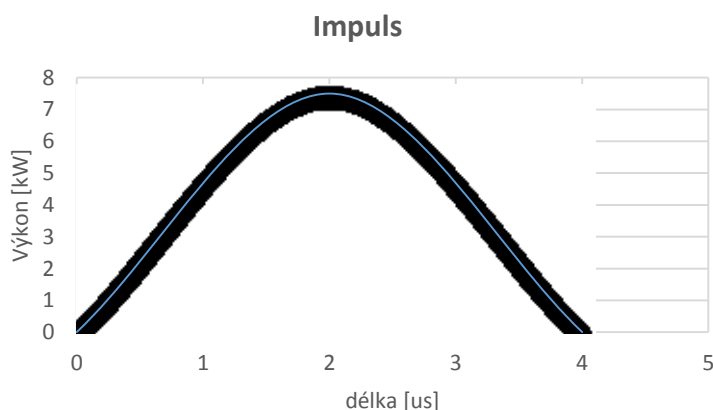
Úkolem je zabezpečit bezpečnost zaměstnanců společnosti a předejít škodám, které by mohli při nedodržování stanovených bezpečnostních předpisů nastat. Z tohoto důvodu musí být každá nová zástavba prověřena tak, aby bezpečnost nebyla narušena. Tato kapitola mapuje hrozby, které mohou nastat a požadavky na jejich ošetření.

Za plného provozu, palubní meteorologický radar dosahuje vyzařovacích hodnot, které jsou vážně nebezpečné pro člověka. Proto se muselo předejít k tomu, aby se za plného provozu nikdo nenacházel v operačním laloku radaru.

Výpočet bezpečné vzdálenosti

Průměr antény	: 12 palců = 30,48 cm
Frekvence	: 9375 + 30 MHz
Délka pulzu	: 4us
Pulzní perioda (fr)	: 106.5 MHz
Špičkový výkon	: 7,5 kW
Plošný výkon (Pk)	: x
Limit pro člověka (LpČ)	: 10mW/cm ²
Vzdálenost (Rs)	: x

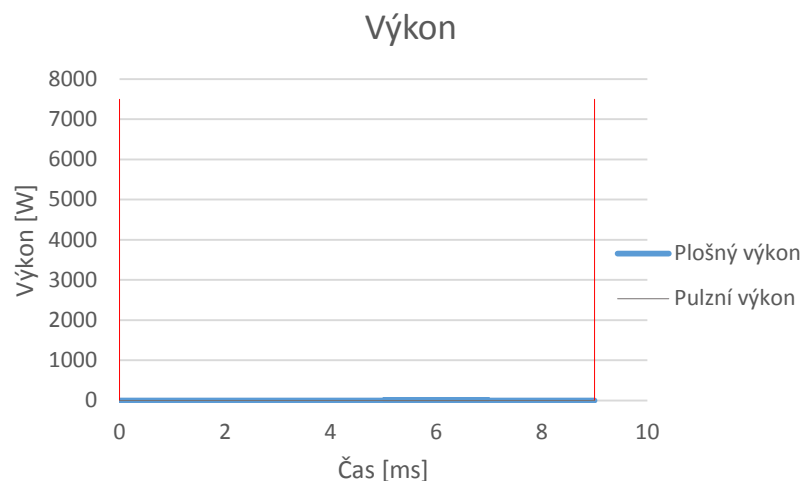
Výpočet plochy signálu



Obr 2.7: Graf znázorňující velikost signálu

$$7,5(\text{kW}) * 4(\text{us}) = 30 \text{ kW} * \text{us}$$

$$30/T = 30/9300(\text{us}) = 3,2\text{W} = \text{Plošný výkon (obr. 2.8)}$$



Obr. 2.8: Graf znázornění plochy signálu rozloženého na celou periodu

Dle FAA je bezpečný limit pro člověka 10mW/cm² [7]

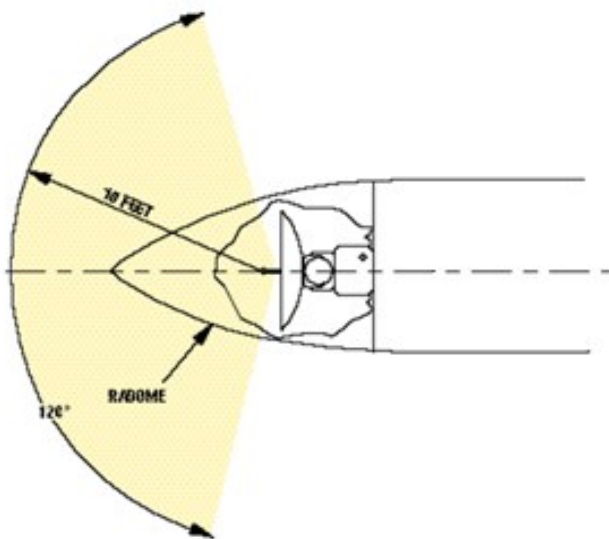
$$R_s = \sqrt{Lp\check{C} * \frac{Pk}{fr*\pi}}$$

$$R_s = \sqrt{1000 * \frac{3,2}{106,5\pi}}$$

$$R_s = 3,09 \text{ m}$$

Bezpečná vzdálenost je 3,09m

V operačním prostoru radaru RDR 2100 do 3,09 metrů nesmí být umístěno nic hořlavého, popřípadě výbušného, pulzní mikrovlny by molekuly v látce rozkmitaly, zahřály a v konečném případě podle bodu vzplanutí i zažehly. Dle oběžníku FAA AC 20-68B je tato vzdálenost o něco větší a činí 3,58 m. Tato vzdálenost je publikována dle U. S. government standarts (obr. 2.9). [7]



obr. 2.9: Bezpečnostní perimetr [7]

2.6. Právní požadavky

Tato kapitola zkoumá vliv právní legislativy Českého telekomunikačního úřadu.

Při instalaci elektronického zařízení, které vysílá do prostoru elektromagnetické vlny, je nutné mít povolení od příslušného úřadu, anebo využívat schválené zařízení. Tyto komunikace spravuje a vymezuje radiové spektrum. V ČR je to Český telekomunikační úřad.

Rádiovým spektrem se podle zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích, a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických komunikacích) ve znění pozdějších změn (dále jen „zákon“) rozumějí elektromagnetické vlny o kmitočtu od 9 kHz do 3 000 GHz, šířené prostorem bez zvláštního vedení. [8]

Využívání rádiového spektra se na mezinárodní úrovni řídí Radiokomunikačním řádem Mezinárodní telekomunikační unii ITU. Radiokomunikační řád ITU je v České republice aplikován Plánem přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka), která určuje přidělení kmitočtových pásem jednotlivým radiokomunikačním službám a blokům. [9,10]

Existují tři kmitočtové pásma, které jsou přiděleny mezinárodní telekomunikační unii ITU pro speciální využití meteorologických radarů.

- 2700-2900 MHz – Pozemní meteorologické radary
- 5600-5650 MHz – Pozemní meteorologické radary
- 9300-9500 MHz – Pozemní meteorologické radary a palubní letecké meteorologické radary

Pro tento účel je vymezena frekvence 9300-9500 MHz, tedy lze radar provozovat bez speciálního povolení ČTU, protože není narušované jiné spektrum. [11,13]

Zbývá dvě spektra jsou vymezená pro využití pozemních srážkových radaru, kterými disponuje ČHMI.

ČHMI disponuje dvěma radary, jeden se nachází v brdech o vysílacím výkonu 250kw na frekvenci 5635MHz. Druhý lze najít u Skalky u Protivína o stejném vysílacím výkonu ale jiné frekvenci 5645 MHz [12]

2.7. Závěr kapitoly požadavky a podmínky

V rámci této kapitoly byli identifikované všechny potřebné požadavky a podmínky, jejichž naplnění je podmínkou pro uskutečnění návrhu realizace instalace palubního meteorologického radaru na střechu budovy.

3. Popis systému a návrh řešení požadavků instalace

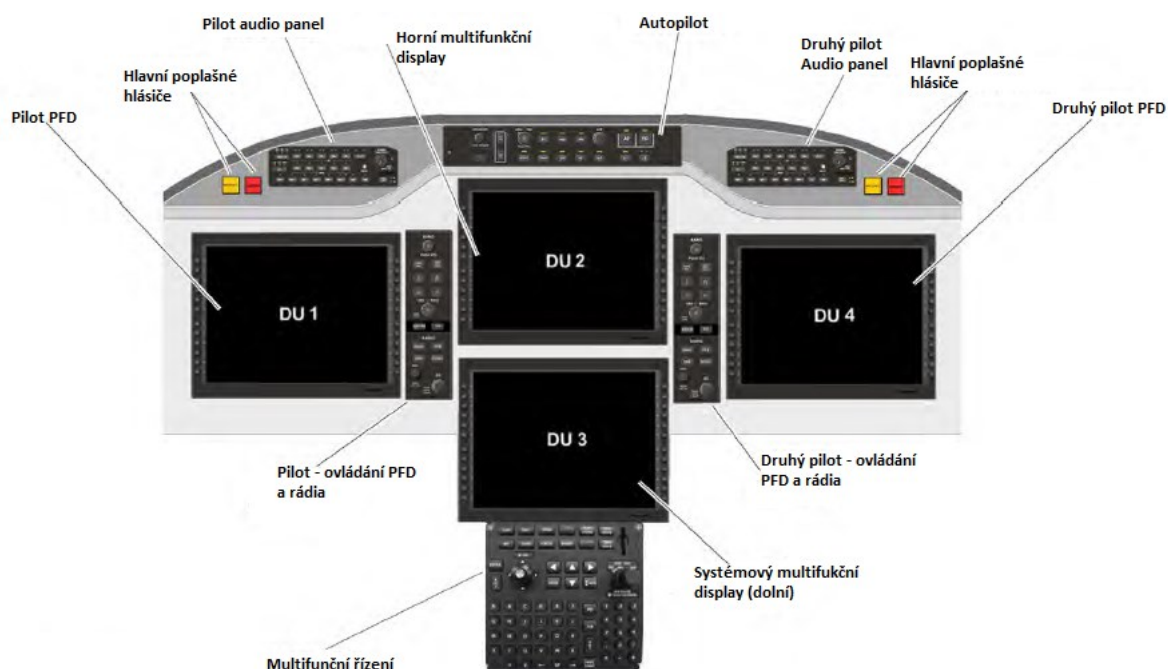
V první části kapitoly je popsán systém Primus APEX a následně teorie palubního meteorologického radaru RDR 2100. V druhé části kapitoly je popsáno určitý návrh na implementaci požadavků z předchozí kapitoly a vytváří tak možné řešení, které je následně vybráno pro realizaci instalace palubního meteorologického radaru na střešku budovy. Toto řešení je navrženo pro každou skupinu výše zmiňovaných požadavků a podmínek.

3.1. Popis systému Primus APEX

Systém Primus APEX vychází z avioniky Primus EPIC 2.0 a je základní hierarchií Avionického systému Honeywell dodávaných do menších letounů jako je Pilatus, Dornier, Antonov, Agusta atp. Každý výrobce těchto letounů si avioniku přizpůsobí dle svých požadavků a nároku.

Zaměříme se proto na popis avioniky pro letoun Pilatus PC 12 NG, jedná se o největší jednomotorový turbopropový letoun poháněn motorovou jednotkou Pratt & Whitney Canada PT6. Tento dolnoplošný letoun s možností přistání a vzletu z nepevného povrchu pojme až 11 lidí a dosahuje cestovní rychlosti 500 Km/h s možností dostupu do výšky 9150ft. [14]

Avionika Primus APEX se skládá ze čtyř ergonomicky uspořádaných zobrazovacích jednotek a jim příslušných ovládacích panelů. Důležité ovládací a zobrazovací jednotky jsou odděleny pro oba piloty spolu s poplašnými hlásiči.



Obr 3.1: Uspořádání Avioniky primus APEX [15]

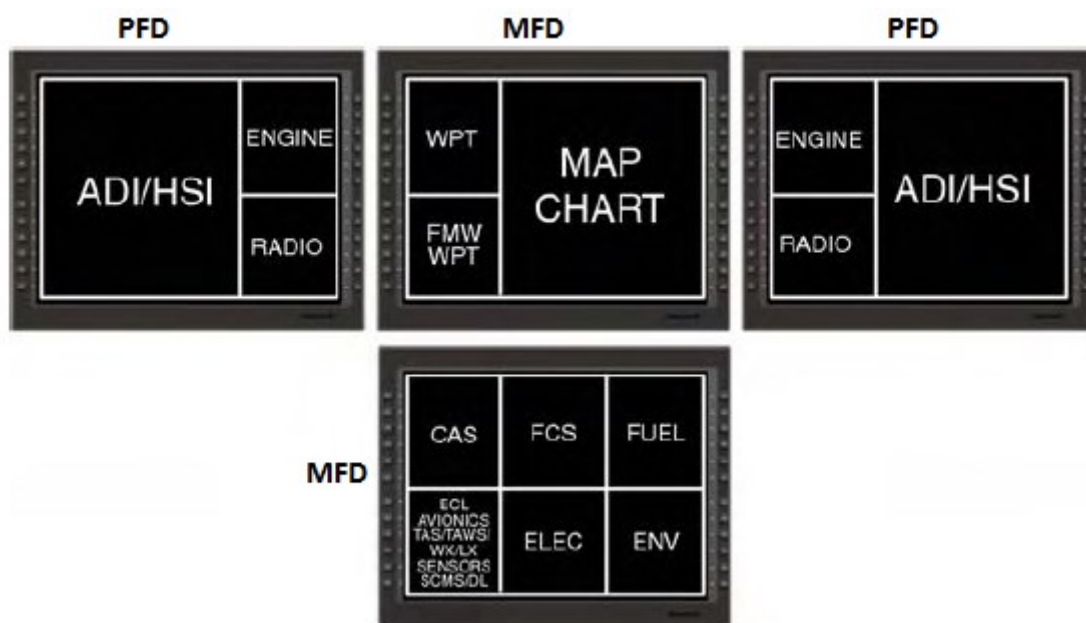
Každá zobrazovací jednotka, zobrazuje dané informace, například PFD zobrazuje asi v 1/6 motorové údaje (Engine), 1/6 rádia (Radio) a ze 2/3 momentální stav letu (ADI / HSI). [15]

Horní MFD

- Waypoint list (WPT)
- Flight Management Window (FMW)
- INAV – Mapové podklady a plánování (Map Chart)

Dolní MFD

- Varování posádky (Cas message)
- Informace o podvozku
- Klapky
- Trim
- Palivová soustava
- Vzduchová cirkulace
- Informace o energetice
- Ochrana proti namrzání
- Konfigurace/nastavení systému avioniky



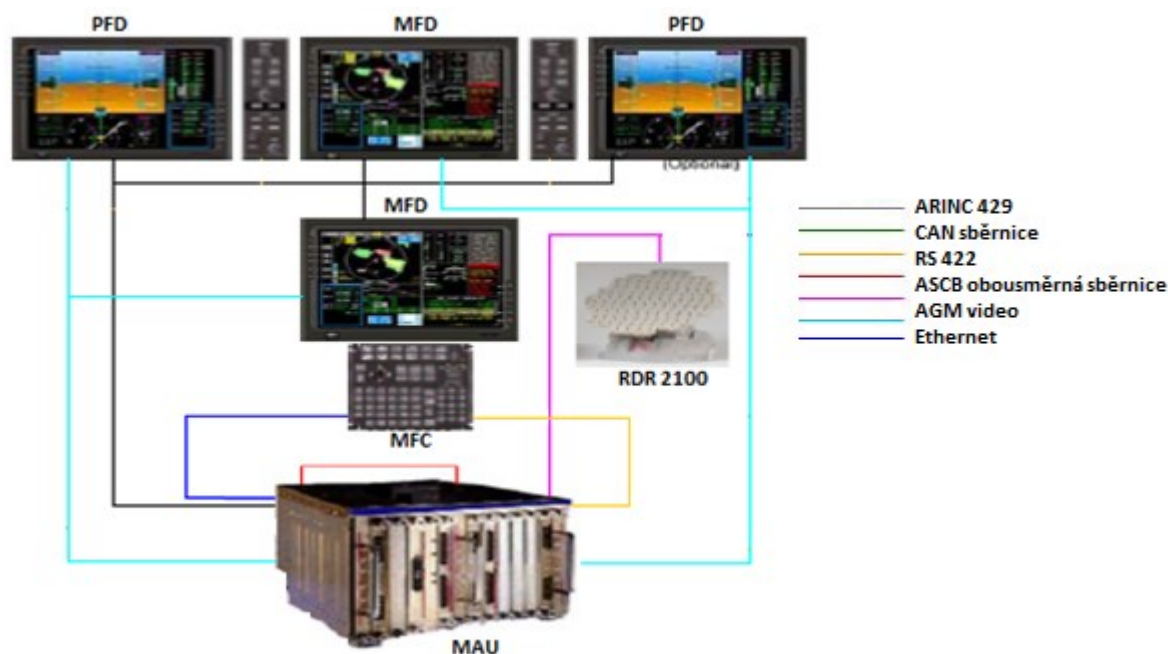
Obr. 3.2: Rozmístění zobrazovacích jednotek [15]

Zobrazovací jednotky jsou o velikosti 8“*10“ s rozlišením 1280*960 pixel, tyto jednotky jsou napájené z elektrice sítě 28V a nepotřebují při normální konfiguraci žádné chlazení. Po stranách zobrazovací jednotky se nachází 24 tlačítek a informace například o momentálním stavu včetně změny jasu jsou přenášeny sběrnici ARINC 429. [15]

Rozmístění zobrazovacích jednotek (Obr 3.2), jejich zvukové a zobrazovací projevy, podléhá psychologickým vlivům na člověka a řadí se do předmětu lidský činitel.

Částečné schéma systému Primus APEX je zobrazeno na obr. Toto schéma se vztahuje pouze k přenosu a zobrazení dat z palubního meteorologického radaru. Soustavy sběrnic, které propojují jednotlivé periferie s MAU je několik druhů.

- ARINC 429 (černá)
- RS 422 (oranžová)
- ARINC 453 (fialová)
- AGM video bus (tyrkysová)
- ASCB (červená)
- Ethernet (modrá)



Obr 3.3: Částečné schéma systému APEX - využívané palubním meteorologickým radarem

V MAU se nacházejí mimo jiné 2 AGM karty (Advanced graphics modul), které generují symboly a přenášejí je přes AGM video bus na zobrazovací jednotku. AGM 1 řídí zobrazovací jednotku na straně pilota a nižší MFD. AGM 2 řídí zobrazovací jednotku na straně 2. pilota a horní MFD. V případě selhání jedné AGM karty, dokáže druhá karta zásobovat všechny zobrazovací jednotky.

Na základě přijatých informací přes sběrnici ARINC 453 z palubního meteorologického radaru, AGM karta generuje symboly dle kapitoly 2.2.3 a přenáší je na zobrazovací jednotku.

V MAU kabinetu se nachází mimo AGM karty i další řídicí moduly, které umožňují dále vypočítávat a zpracovávat přijaté signály MAU kabinet využívá obousměrnou ASCB sběrnici pro interní komunikaci mezi moduly.

3.2. Palubní meteorologický radar

Pokud mluvíme o palubním meteorologickém radaru, mluvíme o radaru optimalizovaném pro detekci a lokalizaci srážkové oblačnosti na velkém území s vysokým prostorovým rozlišením. Takovéto radary se někdy nazývají palubní srážkoměrné, častěji ale pouze palubní meteorologické radary. V rámci této kapitoly se budeme věnovat obecnému popisu palubního meteorologického radaru, jeho ovládání a možných konfigurací. [16]

RDR 2100 je lehký X-band digitální radar navržen pro detekci meteorologických jevů a pozemního mapování. Primární účel systému je detekovat bouřky podél vaší letové cesty a dát tak pilotovi vizuální indikaci úrovně dešťových srážek. Díky tomuto může pilot správně vyhodnotit situaci a vyhnout se včas bouřkovým jádrům.



Obr 3.4: WX na PFD [15]

Anténa vysílá a přijímá signály v rozmezí X-Band frekvencí. Signál o frekvenci 9375 MHz jsou zaslaný přímo do antény z vysílače nainstalovaného z boku antény.

Echo signály jsou doručeny přes anténu přímo do přijímače, který je integrován v anténě. Přijímač a digitální signál konvertuje Echo signály do 4 úrovní srážkových intenzit nebo tří úrovní skenování zemského povrchu. Tyto data jsou přeformátované a zaslaný přes sběrnici na zobrazovací jednotku. [15]

3.2.1. Analýza palubních meteorologických radarů

Analýza popsána v této kapitole popisuje rozbor trhu, cílem této analýzy je identifikovat produkty stejné kategorie, které se nacházejí na komerčním trhu a porovnat jejich vlastnosti. V tomto segmentu se nachází palubní meteorologické radary, jejichž rozměry dovolují využití a zástavbu do turbovrtulových letounů, velmi lehkých a lehkých business jetů. Produkty nabízejí podobné vlastnosti a jsou certifikované FFA pro provoz TSO-C63C.

- Honeywell RDR 2100
- Garmin GWX 70
- Rockwell collins TWR 850

Honeywell RDR 2100 je popsán v kapitole 3.2.2 a je předmětem této diplomové práce. V této analýze poslouží jako referenční produkt.

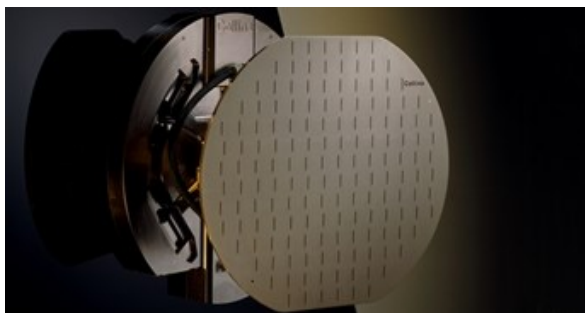
GWX 70, TWR 850 jsou novější palubní meteorologické radary a pro docílení stejných výkonu jim stačí pouze 40 W. Toho je docíleno díky tomu, že nepoužívají pro vyvinutí vysokofrekvenčních elektromagnetických vln magnetron. Magnetron byl nahrazen tzv. SolidState výkonovým zesilovačem. Tento SolidState výkonový zesilovač pracuje na principu silikon bipolárních a galium arsenid tranzistoru. Modul má 8 řazených tranzistoru 4 paralelně ve finální fázi zesilovače následován v druhé fázi dalšími dvěma paralelně řazenými a dva sériové jako hlavní řídicí segment. SolidState dokáže špičkově nabízet 200W bez přehřátí tranzistorů. Nahrazení Magnetronu se také zvyšuje životnost palubních meteorologických radarů. [17]

Garmin GWX 70 má maximální horní hranici teplotního omezení na 70°C. GWX 70 také oproti RDR 2100 má funkci Watch, kdy pilot je včas informován o špatném počasí, i když se lokalita nenachází v perimetru radaru. Další výhodou je možnost nastavení šíře snímaného sektoru 20°, 40°, 60°, 120°. Rychlost plného skenu je 12x za minutu. Palubní meteorologický radar je kompatibilní pouze s avionikou Garmin. [18]



Obr. 3.5: GWX 70 [18]

Rockwell Collins říká „většina nehod z důvodu meteorologických podmínek je způsobena turbulencemi“. Proto nabízí svým zákazníkům přechod ze starších generací radaru na novější TWR 850 za zvýhodněných podmínek. Radar oproti ostatním nabízí funkci, kdy je zobrazeno pouze turbulentní proudění, pilot poté lépe dokáže zhodnotit situaci a správně se rozhodnout. Palubní meteorologický radar je kompatibilní s avionikou Rockwell Collins, Primus EPIC a AVIDYNE. [18]



Obr. 3.6: TWR 850 [19]

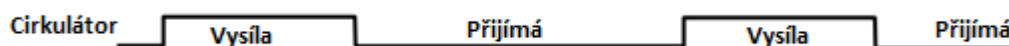
Uvedené produkty se liší pouze ve zvláštních funkcích, z důvodu potřeby se odlišit od ostatních produktů a být pro zákazníka zajímavějším. Tabulkové porovnání produktů je uvedeno v tab 1.

Funkce	RDR 2100	GWX 70	TWR 850
Wx	X	X	X
Mapa	X	X	X
Pozemní skenování	X	X	X
Sektorové skenování	X	X	X
Varovné hlášení	X	X	X
Automatické nastavení náklonu	X	X	X
Přidržení		X	X
Letová stabilizace	X	X	X
Snímání turbulnce	X	X	X
Zobrazení pouze turbuletního proudění			X
Funcke Watch		X	

Tab. 1: Porovnání palubních meteorologických radarů stejné kategorie

3.2.2. Princip radarových měření

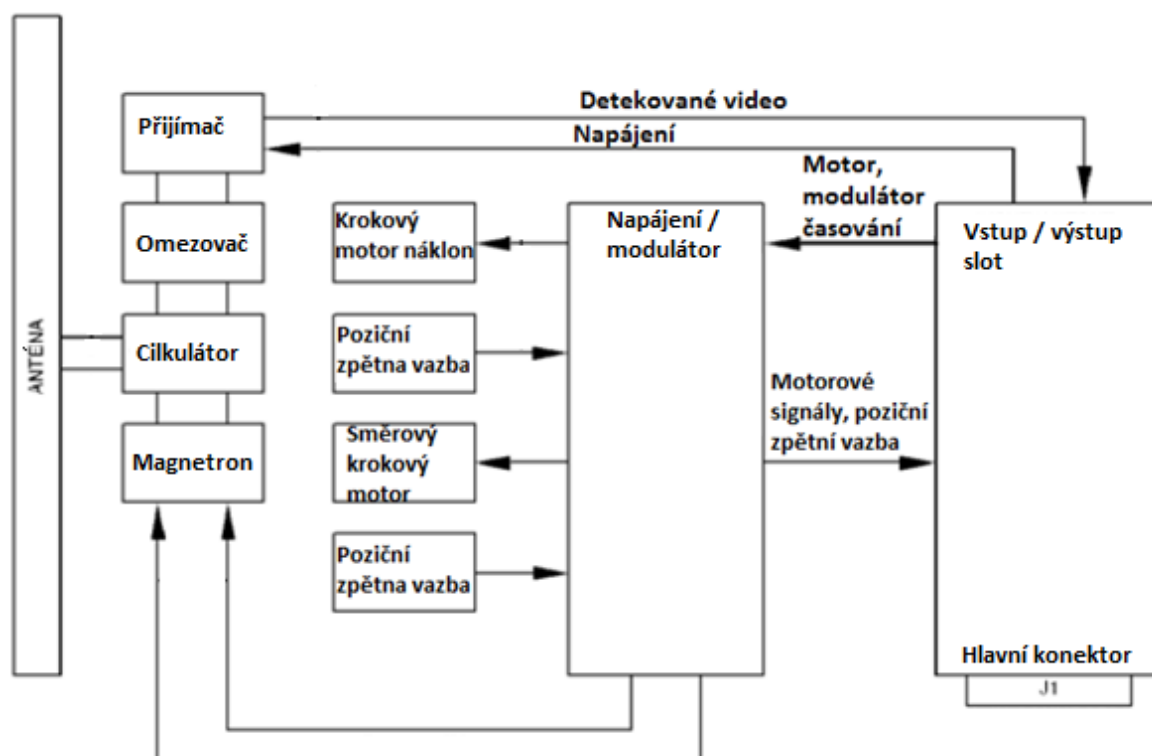
Pro detekci srážkové oblačnosti, musí vysílač radaru generovat krátké vysokoenergetické pulzy elektromagnetického záření o vhodné vlnové délce 3 až 10 cm. Tyto pulzy jsou vytvořeny tak, že z napájecího segmentu směřují vysokonapěťové impulzy do Magnetronu (obr. 3.8). Magnetron generuje vysokofrekvenční kmity, pomocí tzv. elektronky se zkříženými poli. Tyto vysokofrekvenční impulzy směřují dále do Cirkulátoru, kde se oddělují na vysílací a přijímací cesty obr. 3.7. [17]



Obr. 3.7: Cirkulátor

Parabolická anténa dále zformuje tyto mikrovlnné pulzy do úzkého kužele (v podobě světelného paprsku) a následně jsou tyto pulzy vyzářeny z letounu do atmosféry ve směru směrové antény. Největší energie se kumuluje v centru kužele. Pokud vyslaný pulz narazí na oblačné částice (či jinou překážku), tyto částice malou část elektromagnetické energie pohltí a následně rozptýlí do všech směrů, odražené signály se nazývají ECHO signály. Část z této energie je rozptýlena také zpět směrem k anténě, a jsou-li dostatečně velké, radarový přijímač přes anténu tyto ECHO signály zachytí. [16] [17]

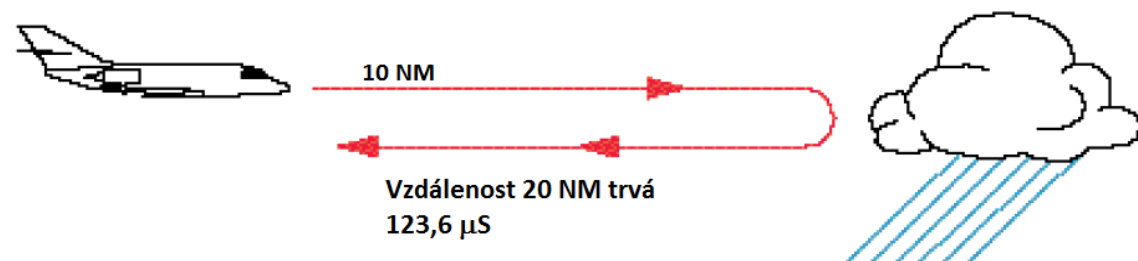
Cirkulátor umožní oddělit přijaté signály od signálu odeslaných a odtud je signál dále vyslán do omezovače, který chrání systém vůči silnému rušení. Signál vstupuje dále do sekce přijímače, kde je signál odfiltrován, následně zesílen a převeden z analogového signálu na signál digitální pomocí A/D převodníku. Echo signály jsou dále dekodovány procesními obvody, a poté zobrazeny na zobrazovací jednotce.



Obr. 3.8: Blokové schéma palubního meteorologického radaru RDR 2100 [15]

Přijímač musí být velmi citlivý, aby byl schopen nalézt a vyhodnotit i velmi slabé odrazy od srážkové oblačnosti. Z časové prodlevy mezi vysláním a zpětným přijetím rozptýleného pulzu a ze známé rychlosti šíření pulzu (rychlost světla) je možné stanovit

vzdálenost radarového cíle, z natočení antény pak jeho směr. Například aby paprsek zaznamenal srážkový oblak ve vzdálenosti 10 NM, musí urazit ještě zpáteční cestu tedy vzdálenost 20 NM, která trvá 123,6 μ s. Každá uplynulá námořní míle trvá 12,36 μ s. [7]



Obr. 3.9: Odrazivost signálu [7]

Pro vyhodnocení třírozměrného rozložení srážkové oblačnosti se provádí kontinuální měření při rotaci antény v azimutu na několika fixních elevačních úhlech. Vlivem zakřivení zemského povrchu není radar schopen ve větších vzdálenostech detekovat cíle blízko zemského povrchu (podobně jako se nám na moři schovají lodě za horizont). Vertikální rozsah této „neviditelné“ oblasti roste se vzdáleností od radaru a je zásadní pro maximální využitelný dosah radarových měření, který se podle typu srážek a ročního období pohybuje mezi přibližně 150 až 300 km, pokud by nebyl palubní meteorologický radar umístěn na střeše, mohli bychom se přiblížit i teoretické hranici 550 km. Na základě síly přijatého signálu se vyhodnocuje takzvaná radarová odrazivost cíle (tab. 2). Ta roste s počtem oblačných částic a s jejich velikostí. Novější generace meteorologických radarů pak mimo síly přijatého signálu dokáže měřit i jeho další charakteristiky a z nich odvozovat další radarové veličiny. [16]

3.2.3. Palubní meteorologický radar zobrazení na PFD

Zaškrtnutím tlačítka WX v nabídce bočních tlačítek na PFD, může palubní meteorologický radar zobrazovat informace o momentálním stavu počasí přímo na PFD Obr 3.4. Mimo informace z palubního meteorologického radaru můžeme zobrazit meteorologické informace i z XM satelitu, však tyto funkce nejdou využít paralelně. Rozsah pokrytí palubního meteorologického radaru je zobrazen na MFD, ovládán pomocí voliče na levém PFD. (ovládán tlačítkem CRC/RNG na ovladači levého PFD).

3.2.4. Mapování počasí a jeho interpretace

Tato sekce obsahuje obecné informace o interpretaci meteorologického radaru, po přečtení těchto informací by měl být operátor schopen využívat radar. Operátor srážkového radaru získává informace, o výskytu patřičných jevu v podobě textur, jejichž význam je uveden v tabulce. [7]

Úroveň	Srážky		video integrated procesor (VIP) Kategorizace				poznámky
	mm/hod	ln/hod	Bouřková úroveň	VIP úroveň	Srážky		
					mm/hod	ln/hod	
4 – Magenta	Více jak 50	Více jak 2	Extrémní	6	Více jak 125	5	Silná turbulence, velké kroupy, blesky, rozsáhlé poryvy větru
			Intenzivní	5	50-124	2-5	Silná turbulence, možný výskyt krupobití blesky, Nárazový vítr
3 – Červená	12-50	0.5-2	Velmi silná	4	25-50	1-2	Možný výskyt silných turbulentí, blesky
			Silná	3	12-25	0.5-1	Možný výskyt silných turbulentí a také blesků
2 – Žlutá	4-12	0.17	Střední	2	2.5-12	0.1-0.5	Slabá až střední turbulence, s možným výskytem blesků
1 – Zelená	1-4	0.04-0.17	Slabá	1	0.25-2.5	0.01-0.1	
0 – Černá	Méně než 1	Méně než 0.04					

Tab. 2: Dekódovací tabulka [7]

Bouřky a turbulence

Palubní meteorologický radar umožňuje podat informace o výskytu turbulentí.

Turbulence jsou dvojího typu, první se nazývá clear air turbulence, tento útvar, radar není schopen zachytit, je použitelný pouze k detekci turbulentí, které jsou doprovázené bouřkovými jevy. To se projevuje na zobrazovací jednotce v místech, kde se rychle mění barvy tzv. dešťový gradient (úroveň 1 až úroveň 4) na krátké vzdálenosti. Predikují tím pravděpodobné místo vzniku turbulence, neboť právě rychlý přechod intenzity srážek je doprovázen turbulentemi. [7]

Vlivem silných výstupních proudů, které jsou schopny udržet ve vzduchu i velké oblačné částice, se konvektivní bouře na radarových snímcích jeví jako jádra s vysokou radarovou odrazivostí a velkým vertikálním rozsahem tyto údaje jsou na radaru zobrazené jako úroveň 4, tato úroveň je indikována červeně. [16]

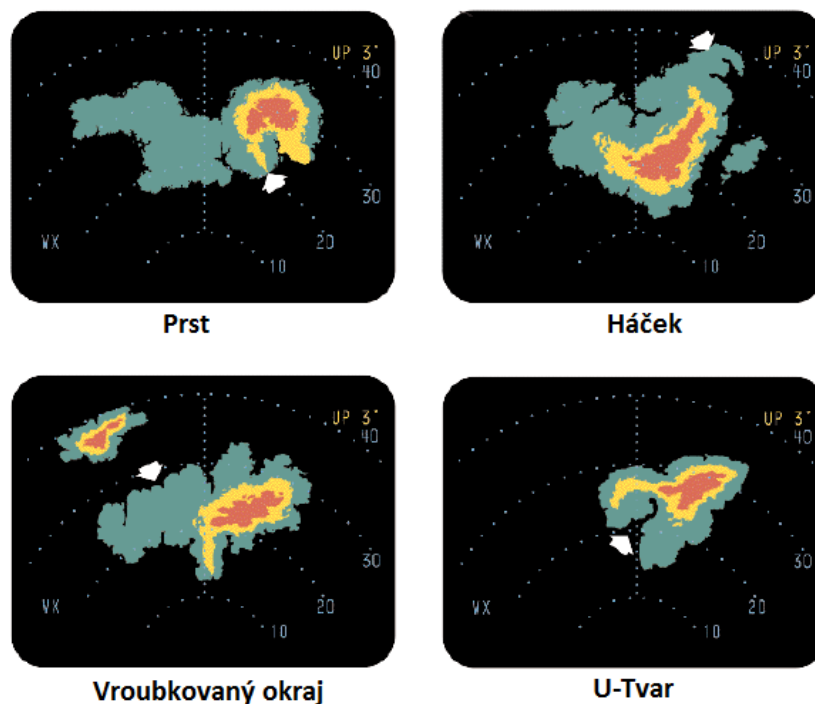
Tornádo

Existují určité metody jak průkazně z naměřeného snímku identifikovat výskyt tornád. Například háček ve tvaru přívěšku (obr. 3.10), který může být dlouhý pět a více námořních mil. Obecně je toto velký předpoklad výskytu tornád, zvláště pokud byl tento úkaz zaznamenán v prostoru, kde vznik tornád je častý. [7]

Kroupy

Kroupy jsou často reflektované jako velmi velké částice, které výborně odráží signály z radaru. Některá zřídla jsou, ale extrémně malá menší jak 91 m, ty pak jsou slabě identifikovatelná radarem. [7]

Zřídla jsou obvykle identifikovaná ve čtyřech odlišných útvarech



Obr. 3.10: Typy zobrazení meteorologických jevů [7]

Vznik námrazy

Radar umožňuje identifikovat území s těžkou námrazou. Tato funkcionality, však závisí na velikosti namrzlých krystalku. U podchlazených vodních kapiček a miniaturních krystalů tento jev nelze identifikovat a stává se tak pro palubní meteorologický radar neviditelným. Radar tedy umožňuje detekovat pouze střední a těžkou námrazu, vznikající hlavně při nestabilním proudění. Tento jev je většinou způsoben přechodem frontálního pásma. Námraza se také často vyskytuje v oblačnosti, známe jako kumulus. Nutné dodat, že v bouřkových oblacích může být námraza extrémně nebezpečná. [7]

Suchý sníh

Suché sněhové vločky nelze identifikovat palubním meteorologického radarem. Signál se od tohoto povrchu neodráží. V praxi to znamená, že palubní meteorologický radar neidentifikuje sněhové přehánky ale pouze významnější sněhové srážky. [7]

3.3. Ovládání a konfigurace Palubního meteorologického radaru

Konfigurační systém využívá RTA (Vysílací, přijímací anténu), která se nachází na například u PC 12 na konci pravého křídla. Samostatný ovládací panel se nachází ve středové konzole kokpitu APEX (Obr. 3.1). Radarové informace můžou být zobrazeny na PFD nebo MFD.

Úhel náklonu a klopení se ovládá centrálním otočným tlačítkem WX na MFC panelu. Jeho stlačením se vybírá mezi náklonem nebo klopením. Dosah se vybírá nezávisle na pravém a levém ovládacím panelu PFD. Náklon je zobrazen ve spodní části PFD. Také je ta to hodnota vyobrazena na MFD v sekci WX/TAWS/LX. Pozemní mapa, vysílání na zem, stabilizace antény, a trimování je také zobrazeno v této sekci. [15]

PFD prvního pilota i PFD druhého pilota lze nezávisle na sobě nastavovat, to způsobuje znázornění radarových snímků na každém PFD nezávisle. V této dvojité konfiguraci pilot a druhý pilot může například měnit rozsah zobrazení palubního meteorologického radaru, aniž by ovlivnil nastavení zobrazení druhého pilota. Tato duální konfigurace sdílí jedno RTA. Pokud je skenován perimetr z pravé strany do levé, systém přepne na zvoleném levém regulátoru a aktualizuje levou zobrazovací jednotku. Opačné skenování, systém přepne do rozsahu vybraného pravým regulátorem a aktualizuje pravou zobrazovací jednotku. [15]



Obr. 3.11: Multifunkční řídicí panel (MFC)

Nastavení módu

Módy palubního meteorologického radaru jsou ovládaný otočným ovladačem. (obr. 3.11). Lze vybírat z jednu z následujících módu.

OFF – V této pozici je palubní meteorologický radar vypnut

STBY (StandBy) – V pozici StandBy je radarový systém plně napájen, ale nevysílá. Úhel antény je nastaven v nulové směrové poloze, respektive přednastavené poloze. Vertikální uhel je na maximální spodní hranici. Tento režim je zaznamenán ikonou **STBY** na zobrazovací jednotce. [7]

TEST – Pokud je vybrán testovací mód, je spuštěna testovací fáze (obr. 3.12), kdy jsou vygenerované všechny dostupné barevné značení, kde jednotlivé barvy jsou v pozicích: [7]

- **Green** -- 10--20 NM
- **Yellow** -- 20--30 NM
- **Red** -- 30--40 NM
- **Magenta** -- 40--50 NM.

Testovací vzor je vyobrazen, aby otestoval dostupné funkce. Při testování nedochází k vysílání elektromagnetických impulzů. Zobrazen na obrázku obr. tento režim je takto zaznamenán **TEST** v místě zobrazení. [7]



Obr. 3.12: Zobrazení meteorologických informací na PFD [7]

WX – Poslední mód, mód WX umožňuje výběr mezi snímáním meteorologických jevů a snímáním terénu. Informace se zobrazují primárně na MFD.

Ovládaní náklonu

Vertikální uhel skenování lze nastavit manuálně nebo automaticky. Manuálně nastavovat lze pomocí otočného ovladače (obr. 3.11).

Automatické skenování způsobuje, že vertikální uhel je měněn sekvenčně o 4°. To umožňuje pilotovi sledovat vertikální snímky srážkové oblačnosti. Automatické skenování nastavuje vertikální profil na uhel +15°. Pokud otočným ovladačem otočíme plně do pravé strany ve směru hodinových ručiček, bude zadána hodnota -31,5 dB (Kalibrační hodnota), která se využívá pro varovné testovací funkce (Alert function). [15]

3.4. Návrh na řešení operativních podmínek

Navrhnuté řešení je doprovázeno klíčovými operačními podmínkami, v následující kapitole bude popsán návrh, který vyhovuje podmínkám, jenž zadal aplikační tým a operativními podmínkám, které jsou dané vlastnostmi palubního meteorologického radaru.

3.4.1. Řešení aplikačních podmínek

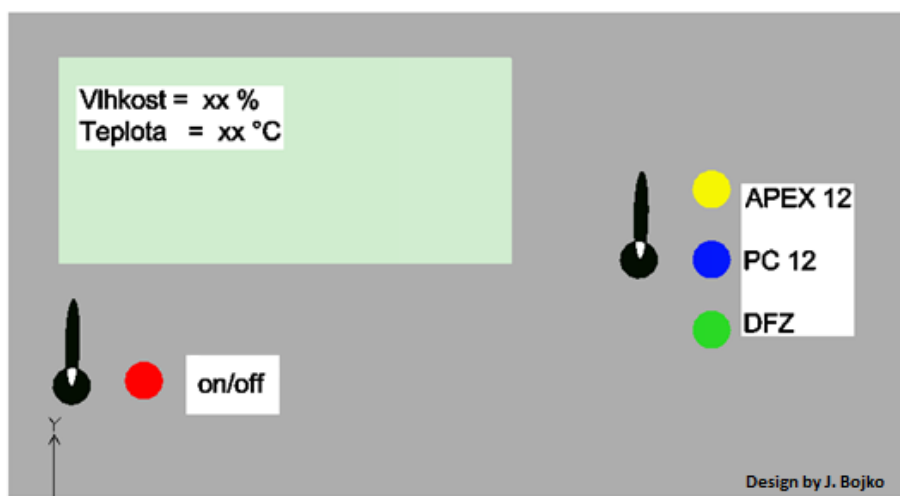
Laterální i vertikální skenování umožňuje palubní meteorologický radar RDR 2100, kde nastavení úhlu skenu je možné na MFC.

Mít možnost celoročního testování umožňuje navržený stůl a radom. Tento radom je dimenzován pro venkovní použití a navrhnout tak aby odolal meteorologickým vlivům v podobě silného krupobití. Kabeláž je svedena do laboratoře a kompletní ovládání palubního meteorologického radaru je tak možno přímo z laboratoře.

Návrh na přesnost je takový, že v laboratoři se dokážou identifikovat bouřková jádra, srážkové oblasti a lokalizovat možné výskyty turbulencí. Ve vyzařovacím úhlu palubního meteorologického radaru se vyskytuje pahorkatina, která by měla jít vidět na zobrazovací jednotce.

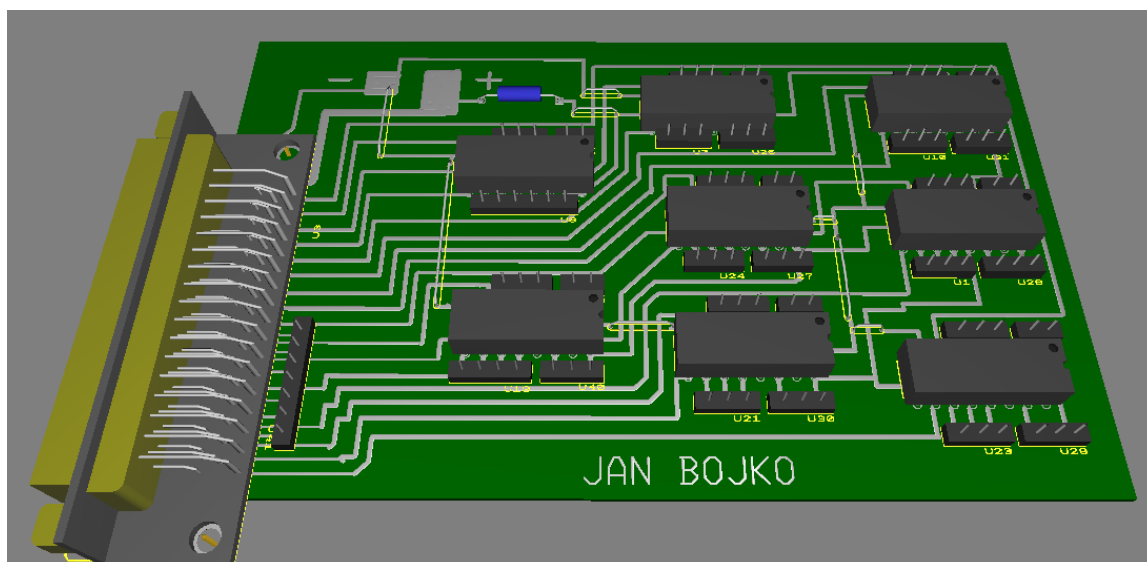
Přepínací jednotka

Podmínkou zde byl i přepínač, který umožní přepínat řízení palubního meteorologického radaru mezi SITS Benchi. Navržený přepínač (obr. 3.13) musí být obousměrný, proto je řešený velkou skupinou multiplexoru a demultiplexoru umístěných na více patrové PCB desce, de/multiplexory spínají 50 pinové vodiče mezi třemi SITS benchi. Navržené Schéma zapojení naleznete v příloze.



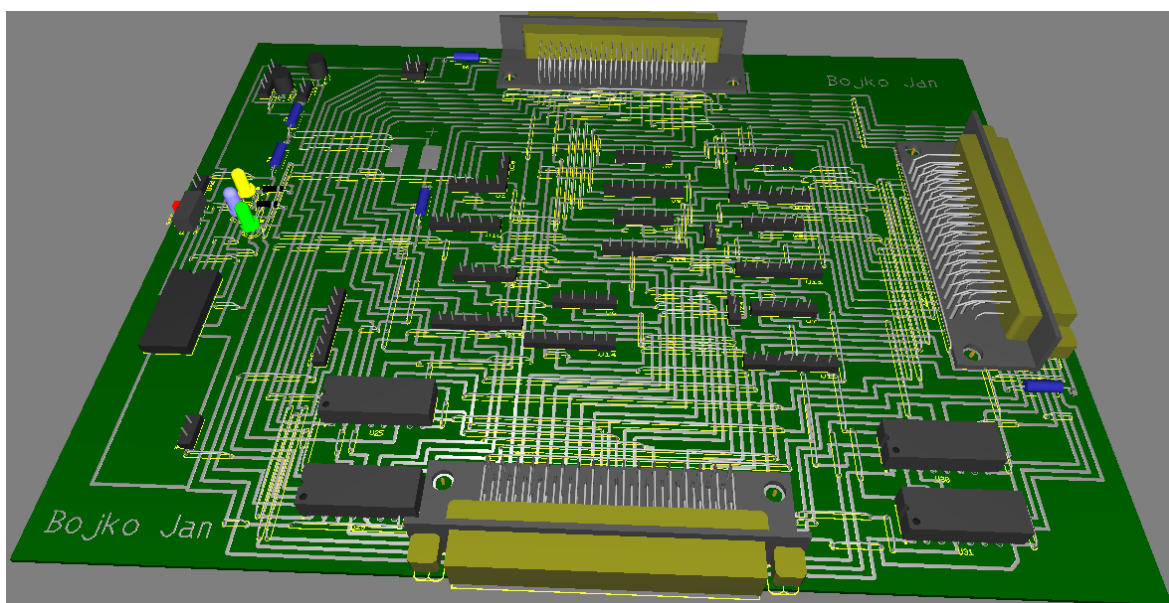
Obr. 3.13: Návrh přepínací jednotky v softwaru DraftSight

PCB deska je navržena tak, aby byla dvoupatrová, kde na prvním patře se budou nacházet integrované obvody sérioparalelně řazených multiplexorů spolu s konektorem (obr. 3.14). Na druhém patře se nachází série přepínačů, sérioparalelně řazené demultiplexoru a hlavní zdroj (obr. 3.15). Třetí patro se bude dělit o zobrazovací jednotku a řídicí systém Arduino. Patrové uspořádání je navrženo z důvodu úspory místa. Dále je zde navrženo i aktivní chlazení, které bude umístěno z boku přepínací jednotky (obr. 3.13). Tyto desky budou umístěny ve skříní tak aby tvořili přenosnou přepínací jednotku.



Obr. 3.14 První patro přepínací jednotky

Napájení palubního meteorologického radaru bude řešeno z přepínací jednotky, která obsahuje vlastní zdroj. Nemusí tak docházet k přepínání napájení ze SITS benchů a tím dojde k ušetření nákladu na vodiče a šetrnější energetické manipulaci s meteoradarem.



Obr. 3.15 Druhé patro přepínací jednotky

Spínání je navrženo dvěma způsoby a to buď externím spínačem (obr. 3.13 vpravo), nebo diskretními signály. Abychom předešli možnému vzniku hazardního stavu, kdy alespoň 2 SITS benche by vyžadovali aktivaci palubního meteorologického radaru, musí zde být logicky obvod XOR. Budeme-li přepínat vzdáleně, je nutné stlačit externí tlačítko, které tuto funkci umožňuje, aktivace je znázorněna LED diodou. Jinak tato funkce bude blokována a prioritu bude mít externí přepínač.

Jelikož je navrženo nezávislé napájení přepínací jednotky, po její zapnutí by měl palubní meteorologický radar přejít do módu Standby. Tedy funkce na otočném přepínači MFC se stává nevyužita. Proto bylo navrženo, že při posunutí otočného ovladače do polohy StBy, daný SITS bench tímto zažádá přepínací jednotku o obsluhu palubního meteorologického radaru. Pokud nebude ve stejnou dobu žádat i jiný SITS bench o obsluhu, bude přidělena, pokud ano vysílání bude zamítnuto.

Spolu s multiplexory, je v jednotce navržen i řídicí systém Arduino. Hlavním úkolem je řídit snímače, které se budou nacházet přímo v radomu a hlídat tak pracovní prostředí palubního meteorologického radaru, aby nedošlo k překročení deklarovaných podmínek.

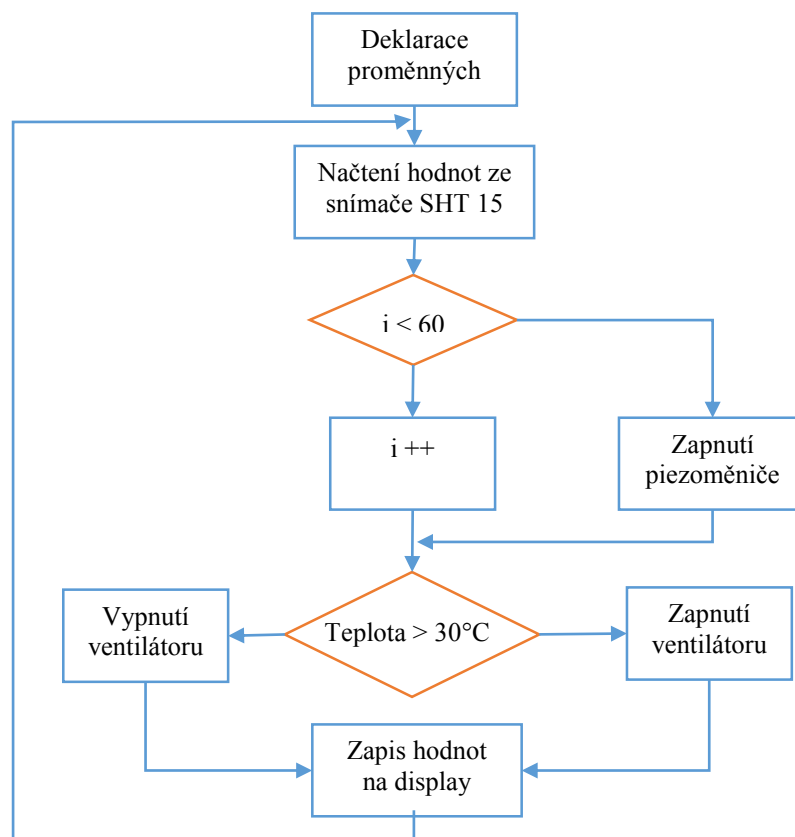
Řídicí systém Arduino

Jedná se o tzv. Open source systém, který umožňuje jednoduché programování vstupů i výstupu. Je zaměřeny na využití v interaktivních projektech, kde slouží jako výpočetní jednotka.

V přepínací jednotce řídicí systém Arduino – Leonardo (obr. 3.16) získává informace o teplotě a vlhkosti ze snímače SHT15. Zobrazení těchto informací je navrženo na příslušné zobrazovací jednotce. Pakliže stoupne teplota nad 40°C je navrženo spuštění ventilátoru, jehož úkolem je optimalizování operačních podmínek, které jsou popsány v kapitole 3.4.2. Řídicí systém Arduino také řídí frekvenci tónu piezoměniče, který je nutný pro naplnění bezpečnostních podmínek v kapitole 3.6. Algoritmus je znázorněný na obrázku 3.17.



Obr. 3.16: Řídicí systém Arduino Leonardo



Obr. 3.17: Navržený algoritmus pro řídicí systém Arduino

3.4.2. Řešení operačních podmínek

Při návrhu řešení bylo dbáno na dodržení operačních podmínek, které vymezují pracovní prostředí radaru. Řešení těchto podmínek je popsán v následující podkapitole.

Teplota

Hlídaní teploty obstarává teplotní snímač SHT 15 (obr 3.18), který pracuje v rozsahu -40°C až do $+123^{\circ}\text{C}$. Tento rozsah pokryje pouze horní hranici maximální povolené teploty.



Obr. 3.18: Teplotní a vlhkostní snímač SHT 15

Tento snímač umístěný v radomu bude napojen na řídicí systém Arduino, který se nachází v přepínací jednotce. Snímač SHT 15 je v provozu pouze tehdy pokud je přepínací

jednotka aktivní. Pro snadnou detekci naměřených hodnot je navrženo zobrazení těchto hodnot v zobrazovací jednotce přepínací jednotky. [20]

V podlahové části radomu byl navržen otvor pro ventilační systém s magnetickým uložením, který se při docílení teploty 30°C sepne a zajistí tak cirkulaci vzduchu. V případě potřeby tyto ventilátory budou dva.

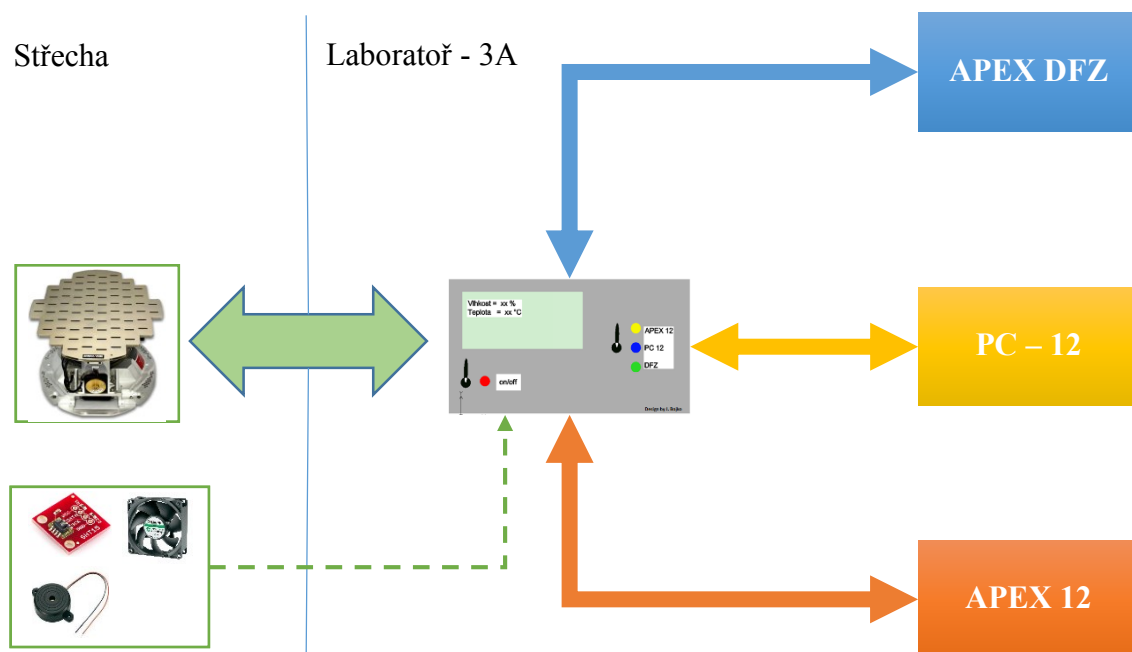
Vlhkost

Zamezit vzniku vlhkosti uvnitř radomu by šlo úplně a to kompletním utěsněním pomocí gumového těsnění. Avšak tímto bychom riskovali navýšení teploty uvnitř radomu nad maximální povolenou mez. Proto je navržený také snímač vlhkosti. Měření vlhkosti provádí snímač SHT 15 (obr. 3.18), stejně jako je tomu v případě teploty. [20]

Vlhkost vně radomu bude patrně vznikat, ale bude se držet u povrchu stolu, neměla by však kondenzovat v prostorech antény.

Propojení a napájení

K tomu aby bylo možné palubní meteorologický radar zprovoznit, bylo nutné navrhnout kabeláž dle instalačního manuálu [1] tak, aby každý pin měl svoji danou funkci, přehození některých pinů by vedlo k likvidaci radaru.



Obr. 3.19: Schéma zapojení

Propojení radaru s přepínací jednotkou tvoří série sběrnic 429, které pracují na komunikaci mezi přepínací jednotkou potažmo SITS benchem a radarem (obr. 3.19). Sběrnice 453 operují naopak a přenášejí tak snímaná data do přepínací jednotky a dále do SITS

benche. Soustava diskretních signálů nastavuje úhel náklon a přepíná módy snímání. Kompletní rozpis pinů je popsán v (Tab. 2). Napájecí piny 34 a 35, vedou energetickou síť o velikosti napětí 28V a 3 A. Z této energetické sítě bude také napájena dvojice výstražných majáku, které indikují zapnutí systému. Spolu s 50 pinovým vodičem propojuje palubní meteorologický radar s přepínací jednotkou také UTP kabel, který v tomto případě netvoří síť, ale slouží zde jako soustava vodičů pro snímání dat z teplotního, vlhkostního snímače, aktivaci ventilátoru a piezoměniče. Vzdálenost mezi radarem a přepínací jednotkou je 30m.

Port	Vstup/Výstup	Název	Port	Vstup/Výstup	Název
1	Vstup	STRUT SWITCH IN	26	Vstup	575 ALTITUDE B2
2	Vstup	CONTROL 1 429 RECEIVER A	27	Vstup	575 ALTITUDE B4
3	Vstup	CONTROL 1 429 RECEIVER B	28	Vstup	575 ALTITUDE D4
4	Vstup	CONTROL 2 429 RECEIVER A	29	Vstup	575 ALTITUDE COMMON
5	Vstup	CONTROL 2 429 RECEIVER B	30		NO CONNECTION
6	Vstup	CONTROL 3 429 RECEIVER A	31	Vstup	RT No. 1 ON/OFF (ON=GND)
7	Vstup	CONTROL 3 429 RECEIVER B	32	Vstup	RT No. 2 ON/OFF (ON=GND)
8	Vstup	ARINC 429 STABILIZATION (A)	33	Vstup	RT No. 3 ON/OFF (ON=GND)
9	Vstup	ARINC 429 STABILIZATION (B)	34	Vstup	+28 VDC AIRCRAFT POWER
10	Vstup	ARINC 429 ALTITUDE (A)	35	Vstup	+28 VDC AIRCRAFT POWER
11	Vstup	ARINC 429 ALTITUDE (B)	36		POWER AND CHASSIS GROUND
12	Výstup	TIME/TEMP OUT (A) (MAINTENANCE ONLY)	37		POWER AND CHASSIS GROUND
13	Výstup	TIME/TEMP OUT (B) (MAINTENANCE ONLY)	38		CALIBRATION LIGHT (MAINTENANCE ONLY)
14		DETECTOR CAL (MAINTENANCE ONLY)	39		SPARE
15		CALIBRATION INC (MAINTENANCE ONLY)	40	Vstup	GYRO REFERENCE HI
16		AFC ADJUST (MAINTENANCE ONLY)	41		GYRO REFERENCE COMMON
17		NO CONNECTION	42	Výstup	ARINC 453 DATA (A)
18	Vstup	PITCH STABILIZATION LO	43	Výstup	ARINC 453 DATA (B)
19	Vstup	PITCH STABILIZATION HI	44	Výstup	+5 VDC CONFIGURATION MODULE VOLTAGE
20	Vstup	ROLL STABILIZATION LO	45	Výstup	CONFIGURATION MODULE CLOCK
21	Vstup	ROLL STABILIZATION HI	46	Výstup	CONFIGURATION MODULE CHIP SELECT 1
22	Vstup	575 ALTITUDE A1	47	Výstup	CONFIGURATION MODULE CHIP SELECT 2
23	Vstup	575 ALTITUDE A2	48	Výstup	DATA TO CONFIGURATION MODULE
24	Vstup	575 ALTITUDE A4	49	Vstup	DATA FROM CONFIGURATION MODULE
25	Vstup	575 ALTITUDE B1	50		CONFIGURATION MODULE GROUND

Tab 2: Rozpis pinů [1]

Sběrnice ARINC 429 a 453

Definuje standardy pro přenos digitálních informací napříč avionickými systémy. Také známý jako MARK 33 Digital Information Transfer System (DITS)

Sběrnice ARINC 429 zabezpečuje jednosměrnou komunikaci mezi přepínací jednotkou a radarem. Mezi radarem a přepínací jednotkou se nachází ARINC 453. Do obvodu této sběrnice lze zapojit 1 – 20 přijímačů, které budou přijímat signály pouze z jednoho zdroje. Tři vstupy mohou být řídicími signály, ačkoli jenom 2 mohou být ve stejnou dobu aktivními. Výstupní signál může být připojený až na tři zobrazovací jednotky s využitím SDI bitu na ARINC 453. [21]

Přenosová sběrnice používá dva zkroucené izolované vodiče o jmenovitém odporu 78Ω a maximální délkou až 100m. Stínění musí být uzemněno na každé straně a také podél všech spojů na sběrnici. [21]

32 bitové slovo (obr. 3.20) je přenášeno dvojicí vodičů a je složeno z:

- paritního bitu, který slouží ke kontrole chybovosti, udává jaký je počet „1“ v přenášené informaci, pokud se namísto paritního bitu vyskytuje „1“ jedná se o lichý počet, pokud „0“ sudý
 - SSM tato pole obsahují hardwarový status, operační mód nebo platnost dat. Jejich kódovací význam závisí na typu využitého kódování (BCD, BNR)
 - Data area slouží pro přenos 19 bitů, nejčastěji se jedná o přenos ve formě BCD nebo BNR kódů
 - SDI pokud se v systému nachází více přijímačů, tato dvojice bitů určí destinaci
 - Label využívá 8 bitů k identifikování datového typu (typu informace) a doprovázených parametrů. Každé slovo ARINC 429 začíná tímto labelem.
- [21]

32 Bit ARINC 429 word

P		SSM		Data (19 bits)																		SDI		8 bit Octal Label								
32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
MSB																																LSB

Obr. 3.20: 32 bitové slovo [21]

ARINC 453 je obdobná jako ARINC 708 nebo ethernet. Tato sběrnice byla navržena pro přenos informací z palubního meteorologického radaru do systému MAU

Anténa

Jedná se o směrovou 12” anténu, která přijímá i vyzařuje pulzní mikrovlnné signály do vzdálenosti až 550 km. Aby bylo možné pomocí magnetronu vysílat frekvenci 9375 MHz na tak velké vzdálenosti, musí mít radar dostatečný výkon. Zisk antény je 26,7 dB.

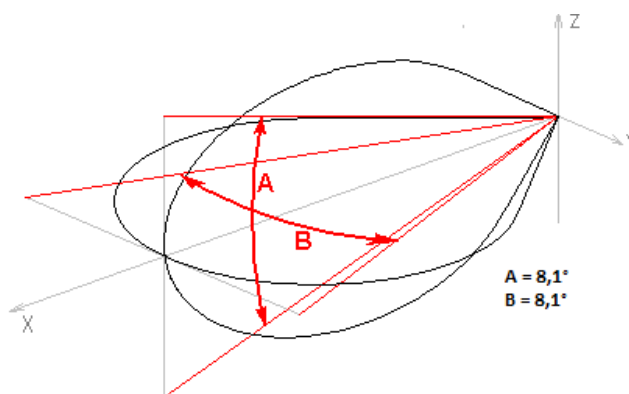
U antény jsou nejdůležitější parametry

- zisk
- směrová charakteristika
- polarizace

Zisk je vyjádřen v Decibelech (dB) a vyjadřuje výkon nebo intenzitu elektromagnetického pole. Udává kolikrát je účinnost antény vyšší než zisk půlvlnného dipólu.

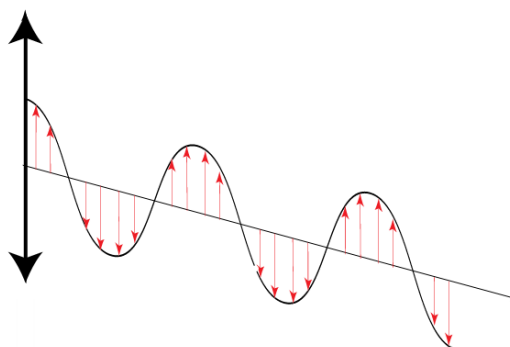
Směrová charakteristika vyjadřuje graficky míru šíření vysílaného výkonu v určitém směru, a to v rovině horizontální a vertikální [22].

Tvar vyzařovací charakteristiky závisí na směrovosti antény a jejího zisku. Čím je větší zisk antény, tím je intenzita elektromagnetických vln více soustředěna do užšího operačního laloku. S anténou o vysokém zisku je vyzařovací kužel úzký, ale jeho dosah významně vyšší. Využívá se v místech, kde je zapotřebí koncentrovat elektromagnetické vlny do jednoho bodu a tím pokrýt vzdálenější území. Pokud zisk antény je nižší, po té anténa dosahuje širšího pokrytí. [23]



Obr. 3.21: Směrová vyzařovací charakteristika [23]

Má-li palubní meteorologický radar vertikální polarizaci, znamená to, že se elektromagnetické vlny šíří ve vertikální rovině vzhledem k zemské ose. Anténa může být lineárně polarizovaná, protože letoun nemění markantně svůj náklon. Pokud by došlo k otočení palubního meteorologického radaru o 90° došlo by k útlumu až 30 dB, a následoval by výpadek příjmu. [22]



Obr. 3.22: Anténní signál [23]

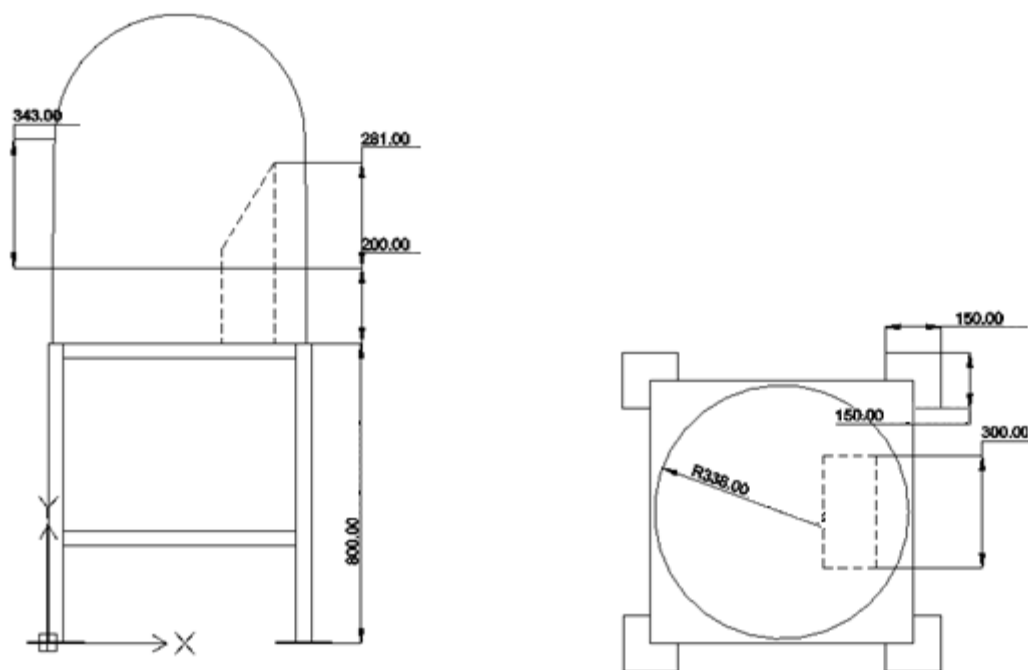
3.5. Návrh na řešení logistických podmínek

Požadavky na umístění palubního meteorologického radaru umožnily pouze jedno možné umístění. Palubní meteorologický radar bude umístěn v rámci anténní farmy a bude mít ve vyzařovacím prostoru na pravé straně pahorkatinu, která by se měla zobrazit na zobrazovací jednotce.

Ideální umístění by však bylo na střeše výtahové šachty, kde by nemohlo dojít k možnému nebezpečí ozáření. To však bylo zamítnuto i napříč těmito benefitům, protože střecha této výtahové šachty se nachází výše než 2 m a přístup je zde pouze po žebříku.

Natočení palubního meteorologického radaru je navrženo ve směru 210° to znamená, že vyzařovací lalok bude od 150° až do 270° ve výšce jedno metru nad střechou. Zároveň palubní meteorologický radar bude nakloněn o 56° vůči střeše, aby se předešlo nebezpečnému vyzařování do budovy.

Naklonění a umístění v jednom metru nad střechou obstarává navržený celo hlinkový stůl neboli podstavec (obr. 3.23).

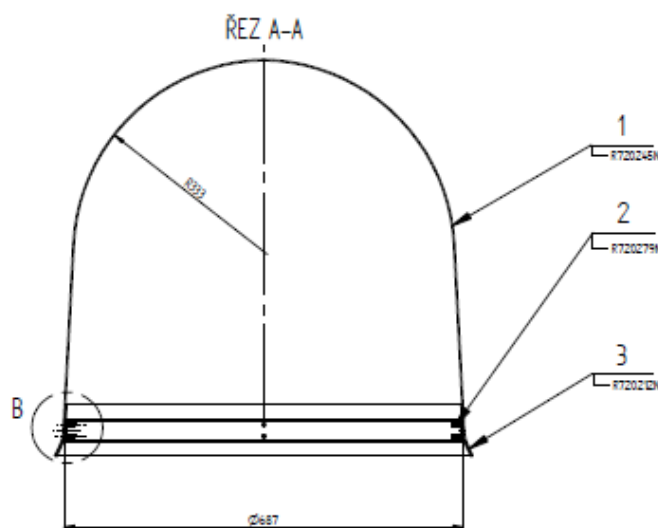


Obr. 3.23: Návrh stolu, výkres byl navržený v softwaru DraftSight

Na obrázku 3.23 vlevo je patrná nakloněná rovina a pro umístění radaru, dále je zde pásovina, která uchycuje radom. Také byli navrženy podložky pro navrtání a tedy u kotvení stolu do dlaždic na střeše budovy.

Návrh radomu byl komplikovanější, nejdříve bylo nutné nalézt ideálně na českém trhu společnost, která se výrobou radomu zabývá, poté sjednat schůzi a vysvětlit požadavek.

Za přímé pomoci pana Ing. Petra Fisera ze společnosti Ramet byl vytvořen návrh, který splňoval kladené požadavky a byl rozměrově přizpůsoben palubnímu meteorologickému radaru, originální výkres lze najít v příloze.



Obr 3.24: Návrh radomu

3.6. Bezpečnostní návrh

Návrh pro naplnění bezpečnostních požadavků se skládá ze dvou částí. První z částí je, aby o palubním meteorologickém radaru na střeše budovy byli všichni zaměstnanci informováni. Úzká skupina zaměstnanců má školení pro vstup na střechu, tito zaměstnanci jsou každý rok speciálně školeni. Do osnovy školení je nově navržen i radarový systém.

Druhá část je, aby se v danou chvíli nenacházel nikdo v nebezpečném prostoru palubního meteorologického radaru, který je definován výpočtem v kapitole bezpečnostní požadavky. Pro tento prostor jsou navrženy, výstražné symboly a dva výstražné majáky, které budou aktivní v dobu, kdy radar bude napájen (v režimu StandBy).



Obr. 3.26 Piezoměr

Jelikož může nastat situace, kdy dojde k přehlednutí těchto majáku, je navržen také výstražný zvukový signál piezoměniče (obr. 3.26) řízen řídicím systémem Arduino a to v relaci vteřinového tónu po jedné minutě. Pro účely, kdyby ani zvukový signál nebyl dostačující, je celý prostor ohraničen podélným značením i řetízkovým oplocením.

3.7. Testovací Plán

Testovacím plánem rozumíme soubor úkonu, které palubní meteorologický radar musí absolvovat, aby se jeho provoz stal úspěšným. Tyto úkony se řadí do dvou skupin, skupina, která se zabývá testováním bezpečnosti palubního meteorologického radaru a jeho okolí. Druhá skupina úkonu se zabývá testováním palubního meteorologického radaru.

Celkově je testovací plán složen z jedenácti úkonu.

Skupina A

1. Odolnost vůči meteorologickým vlivům.
2. Varovný systém.
3. Vibrační testování
4. Aktivní chlazení.

Skupina B

5. Napájení
6. Testování dostupných módu.
7. Testování pohyblivosti anténního systému.
8. Snímání
9. Zobrazení údajů z palubního meteorologického radaru na všech dostupných zobrazovacích jednotkách.
10. Měnit rozsah vzdálenosti v celém rozsahu.
11. Testování náklonu při simulaci různých režimech letu.

Při testování je nutné zaznamenávat všechny okolnosti, které by mohli narušit budoucí pravidelný chod palubního meteorologického radaru. Zaznamenané nedostatky, odstranit na místě nebo je zkoumat předmětem dalšího šetření.

3.8 Závěr kapitoly

V první části této kapitoly byl čtenář seznámen se systémem APEX a principiální funkčnosti palubního meteorologického radaru. Následně byl seznámen s finálním návrhem na řešení, které bude předmětem realizace v následující kapitole.

4. Realizace a testování

Kapitola realizace a testování popisuje kompletní instalaci palubního meteorologického radaru od první schůze s managementem až do poslední schůze s managementem, kde byl provoz palubního meteorologického radaru o představen. Realizace vychází z navrhnutého řešení, které je popsáno v předchozí třetí kapitole. Kapitola je popsána v časovém sledu tak jak jednotlivé činnosti na sebe navazovali.

Realizace projektu započala interní schůzí, za přítomnosti aplikačního týmu APEX, jejich managementu a ESEA managementu. Hlavním tématem bylo určení požadavku na daný projekt, zdroje financí a následné definování určitého plánu, který doprovází celý projekt. Další schůze o takovém rozsahu účastníků byli už jen tři, kde byli účastníci informováni o momentálním průběhu projektu.

Komunikace s lidmi byla poté spíše jen individuální, to sebou neslo i fakt že, všichni lidé nebyli patřičně informováni. Proto bylo poté využíváno spíše informačních emailu.

Realizace radomu

Jeden z prvních cílů byla realizace radomu. K úvahu přicházeli dvě společnosti, obě byli kontaktováni, ale zakázku přijala pouze jedna sídlící na jihovýchodě Moravy. V říjnu po úvodní emailové korespondenci, byla uspořádaná schůze s vývojářem ing. Jan Fisher. Po předložení našich požadavku, byl vytvořen hotový návrh, který šel po 14 dnech do výroby. Paralelně s výrobou materiálu byli za pomoci emailové korespondence řešeny detaily, jako je způsob uchycení a jeho uzamčení ke stolu i zesílená struktura radomu. Finální podobu výkresu je možno nalézt v příloze. Radom byl vyhotoven a doručen v prosinci roku 2015.

Realizace stolu

Dle radomu byl ve volné verzi softwaru DraftSight navržený a poté i nakreslený stůl s pásovinou, ke které byl uchycen v přímé poloze radom. Návrh včetně požadavku jako je například požadavek na materiál, byl předán svářečské firmě, která stůl i s podstavcem pro palubní meteorologický radar vyrobila. Svařování a úplná výroba stolu trvala tři týdny. Poté byl radom se stolem umístěny v laboratoři (obr. 4.1). Do té doby než se vyplní patřičná povolení od CTPparku a JLL pro umístění radaru na střechu.



obr. 4.1: Stůl a radom v laboratoři 3A

Paralelně s výrobou stolu. Byli řešeny kroky, jejímž úkolem byla realizace propojení palubního meteorologického radaru se SITS benchem, Bylo nutné vyrobit dle specifikací svazek 50 vodičů, připojit konektory. Schéma zapojení konektoru bylo popsáno v kapitole 3.4.2. Špatná realizace vodiče by vedla k trvalému poškození palubního meteorologického radaru, bylo nutné kontaktovat externí společnost a předat jim veškeré požadavky včetně návrhu. Po dvou týdnech byla kabeláž na místě, a mohlo proběhnout její testování. Testování ověřilo funkčnost kabeláže na výbornou.

Mezi tím přišel nový požadavek od aplikačního týmu pro realizaci přepínače. Za týden od vzniku tohoto požadavku, byl svolán meeting, jehož úkolem bylo obhájit návrh a pravděpodobnou funkčnost přepínače, který plnil zadané požadavky. Obhajoba neproběhla dle předpokladů, bylo žádáno odstranění Arduina z přepínací jednotky, tedy další nadbytečné výpočetní kapacity a využívat tak výpočetní kapacitu SITS benche. Tuto námitku se však podařilo přehodnotit a získat tak větší podporu pro řešení problému za pomoci nezávislé výpočetní jednotky Arduino.

Programování řídicího systému arduino

Dle popsaného algoritmu v kapitole 3.4.1 byl napsán zdrojový kód v programovací jazyce C. Jeho důležité části jsou popsány níže.

První částí zdrojového kódu jsou deklarované knihovny pro teplotní a vlhkostní čidlo sht15 a také pro LCD display, dále deklarování vstupních komunikačních portů a jejich proměnných typu float. Jako pomocná proměnná byla deklarována proměnná integer „i“. Tato první část zdrojového kódu se nachází na obr 4.2

```

#include <SHT1x.h> //knihovna pro teplotní čidlo
#include <LiquidCrystal.h> //knihovna pro LCD display
#define DATA 7
#define SCK 8
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //nastavení komunikace
SHT1x cidlo(DATA, SCK);
float teplota; //deklarování proměnné pro teplotu
float vlhkost; //deklarování proměnné pro vlhkost
int i=0; //pomocná proměnná

```

obr. 4.2: Deklarace proměnných a jejich knihovny

Po deklarování proměnných a knihoven následuje cyklus loop, který vkládá do proměnných teplota a vlhkost reálné hodnoty a při každém vložení inkrementuje proměnnou „i“, která znázorňuje počet cyklů. Následuje podmínka „if“, která po šedesáti cyklech aktivuje piezoměnič po dobu jedné vteřiny. Ventilátor se aktivuje pomocí další podmínky „if“, a to jakmile teplota převrší hodnotu 30°C, pokud se tak nestane ventilátor je vypnut.

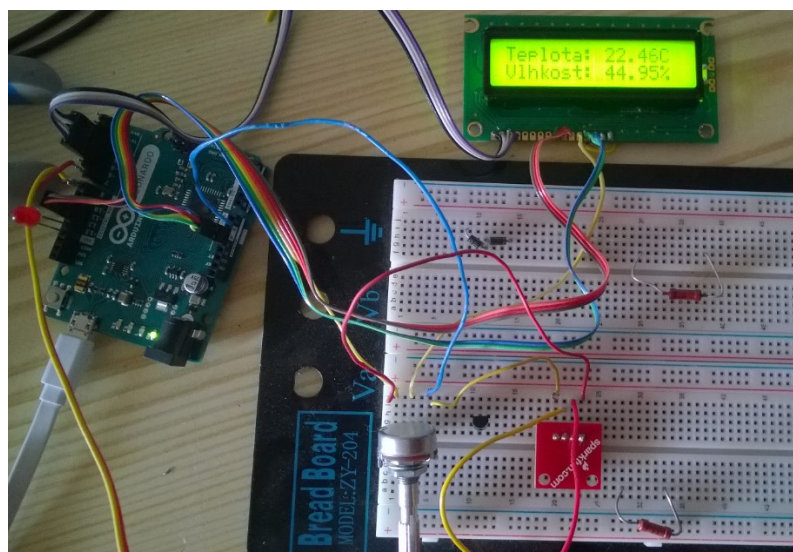
```

void loop() {
    i=i+1; // inkrementace pomocné proměnné
    teplota = cidlo.readTemperatureC(); // načtení teploty ze snímače SHT15
    vlhkost = cidlo.readHumidity(); // načtení vlhkosti ze snímače SHT15
    if (i>60){
        digitalWrite(6, HIGH); //zapnutí piezoměniče
        delay(1000); //tón po dobu 1 vteřiny
        digitalWrite(6, LOW);
        i=0; //vynulování pomocné proměnné
    } if (teplota > 30)
    { digitalWrite(13,HIGH);} //zapnutí ventilátoru
    else { digitalWrite(13,LOW); } //vypnutí ventilátoru
}

```

obr. 4.3: Podmínky „if“ a načítání hodnot ze snímače SHT15

V další části se nachází výpis hodnot na zobrazovací jednotku, celý zdrojový kód lze najít v příloze. Funkční zapojení lze vidět na obrázku 4.4 s využitím nepájivého pole.



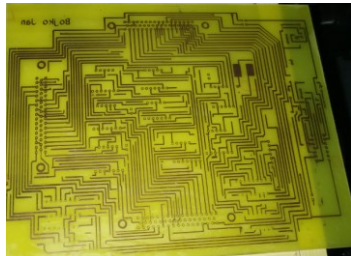
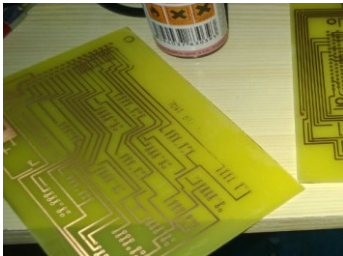
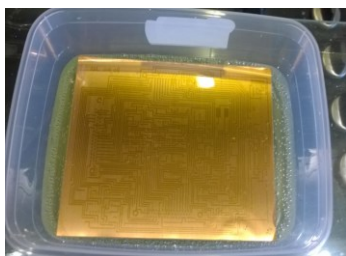
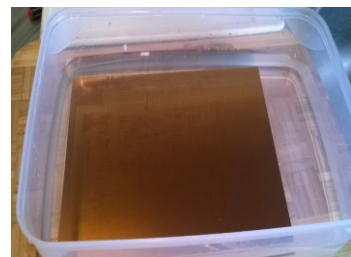
Obr. 4.4: Zapojení řídicího systému Arduino a zobrazovací jednotky pro testovací účely

Popis výroby přepínací jednotky

Realizace přepínací jednotky se skládá ze tří částí

- Realizace PCB Desky
- Realizace skříně
- Montáže PCB desky do skříně.

Výroba PCB desky probíhala způsobem fotocesty. Navržený obvod v softwaru NI Multisim popsán v kapitole 3.4.2 a v příloze byl vytištěn inkoustovou tiskárnou na průhlednou folii. Obvod byl vytištěn dva krát na dvě samostatné folie z důvodu zvýšení kvality. Po vytištění byli cesty stále průsvitné, to by vedlo k odleptání celé desky, proto bylo využito toluenových par pro zhomogenizování. Na folie byli přiváděny páry z toluenového ředidla po dobu 60 min. Následovalo vysoušení folii, kdy folie byla ponechána volně na vzduchu po dobu 15 min. Poté bylo docíleno téměř neprosvitných cest. Rozměry kuperixodové desky byli upraveny dle navrženého schématu. Proces osvitů probíhal tak, že folie byli založeny za sebou tak, aby značena cesta nepropouštěla světlo. Folie byli vloženy do skleněných desek a uchyceny kolíky, které chránily desku před posunutím. Nad skleněnou desku byla umístěna ve vzdálenosti 30 cm halogenová výbojka o výkonu 500W. Doba osvitů trvala 5 minut, poté na kuperoxidové desce bylo možné spatřit osvětlený motiv. V této chvíli bylo nutné motiv vyvolat. Osvětlená deska byla vložena do nádoby a poté zalita před vyrobenou vývojkou. [24]



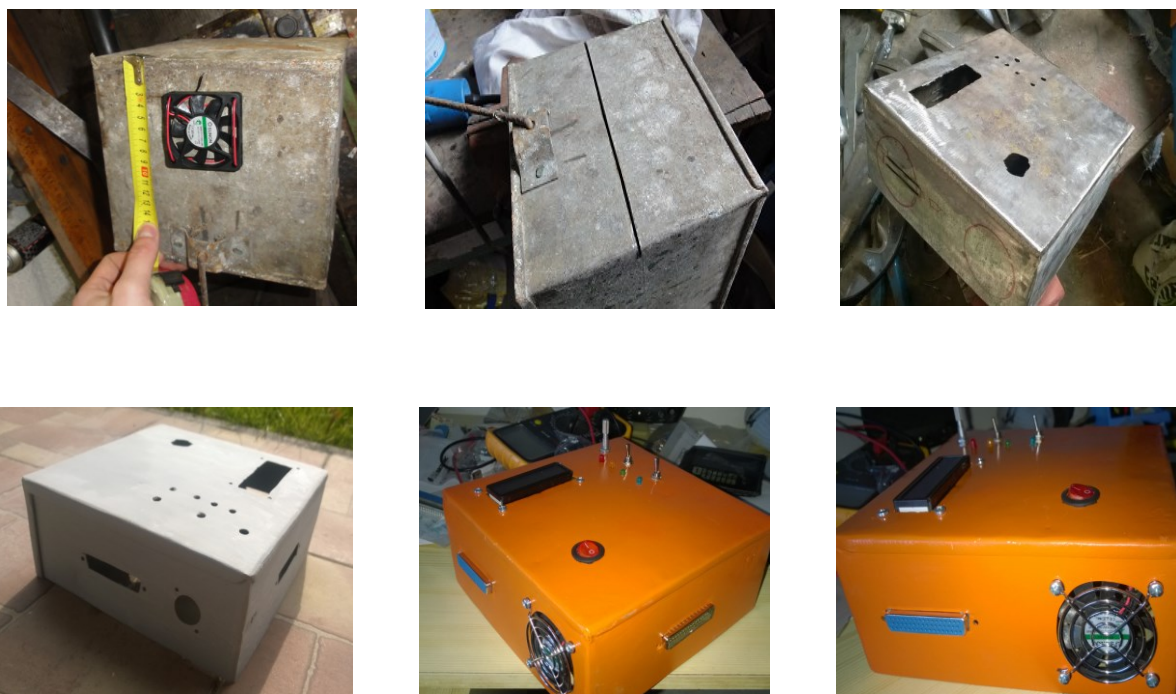
Obr. 4.2: Obrazový koláč výroby desky plošných spojů

Jakmile všechna osvětlená místa odplavala, byla deska řádně opláchnuta pod tekoucí vodou. Schéma vyvolané na PCB desce bylo zkontrolováno a vložilo se do leptací lázně,

kteřá obsahovala směs kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku. Po vyleptání PCB deska byla vyjmuta z lázně a následně vyčištěna acetonovým ředidlem a natřela lakem. Stejný proces proběhl i pro vytvoření druhé PCB desky. [24]

PCB deska byla navrtána a osazena komponenty. Proces je zmapován na koláči fotografii na obrázku 4.2. Stejný proces proběhl i na druhé desce.

Dle navržených PCB desek byla vyrobena skříň přepínací jednotky (obr. 4.3). Skříň byla vyřezána do finálních rozměrů 200x200x80 mm, poté brusným kotoučem zbavena rzi a nečistot. Na skříň byly načrtnuté tlačítka, přepínače, zobrazovací jednotka, konektory, aktivní chlazení dle náčrtu byly otvory vyřezány a následně vybroušeny. Pro přichycení jmenovaných periferií byli využité šroubové spoje, proto bylo nutné vyvrtat otvory.



Obr. 4.3: Obrazový koláč výroby skříně přepínací jednotky

Skříň byla vyčištěna acetonovým ředidlem a na její povrch byl nejprve nanesený tmel pro zahmlazení nerovných ploch a základní barvy. Na tuto základní barvu byla poté nanesena oranžovou barvu. Ze spodní strany skříně byli nalepené gumové podložky, které zabraňují přímému kontaktu s podlahou.

Následovala montáž, nejprve byl zapojen naprogramovaný řídicí systém Arduino se zobrazovací jednotkou a s periferiemi. Poté se vložily osazené PCB desky do skříně a propojily konektory.

Paralelně s výrobou prepínací jednotky probíhaly diskuze se správou budovy na téma, jaké kroky musí být podstoupeny, aby bylo možné palubní meteorologický radar na střechu budovy postavit.

První schůze zaměřená na stanovení jednotlivých kroků, poukázala na fakt, že není vůbec jisté, jestli povolení bude uděleno. Nikdo ze zaměstnanců správy budovy se nesetkal se systémem, který může ohrozit zaměstnance na životech, při přímém vystavení záření. Jelikož neexistují žádné zvláštní směrnice, pokračovalo dle standartních směrnic.

Předání specifikací palubního meteorologického radaru a zápisu těchto specifikací do seznamu přístrojů, které se již vyskytují na střeše. Byla ujednána schůze s odpovědnými osobami za tyto přístroje, kde proběhlo představení palubního meteorologického radaru, a vyloučila se možnost rušení ostatních přístrojů.

Tento krok umožnil přejít k dalšímu kroku a to stanovení bezpečnostních pravidel, které musí být za provozu dodržovány. Z těchto dokumentů, byla vytvořena prezentace umístěna v příloze, která byla prezentována při obhajobě projektu před konečným verdiktem představitelů CTParku. Konečný verdikt v danou chvíli nepřišel, protože představovaný návrh musel být schválen architektem budovy, zda konstrukce stolu a radomu nezasahuje do celkového vzhledu budovy.

Jakmile instalace palubního meteorologického radaru byla písemně schválena, mohlo se začít s instalací. Písemné povolení lze najít v příloze.

Stůl s radomem byl přenesen na schválené místo na střeše budovy, zde byl ukotven šroubovým spoji, které byli navrtány do hmotných dlaždic umístěných na střeše budovy. Poté následoval průtah kabeláže přes svodové kanály až do laboratoře. Tento úkon byl oklasifikován jako zásah do budovy a tento zásah musela provést jen speciálně proškolená společnost. Postup celého projektu se pozastavil do té doby, než se nalezne společnost, která je zmocněná tuto činnost provozovat.

Mezi tím pokračovali práce na prepínací jednotce.

Externí společnost zmocněná protáhnout kabeláž nařídila odmontovat konektor na straně svazku, který má být protažen z důvodu velikosti průtahového potrubí, to se však netýkalo UTP kabeláže. Toto bylo učiněno a všech 50 pinů bylo zaznačeno tak, aby při opětovném nasazování konektoru, nedošlo k chybě. Nařízení, však nebylo dostatečně komunikováno pracovníkům, kteří prováděli průtah kabeláže. Pracovníci protáhli opačný konec kabeláže, který měl nasazený konektor, toto pochybení za tři následující dny bylo napraveno. Po té všem zaměstnancům budovy (včetně mě z nepochopitelných důvodů), byl

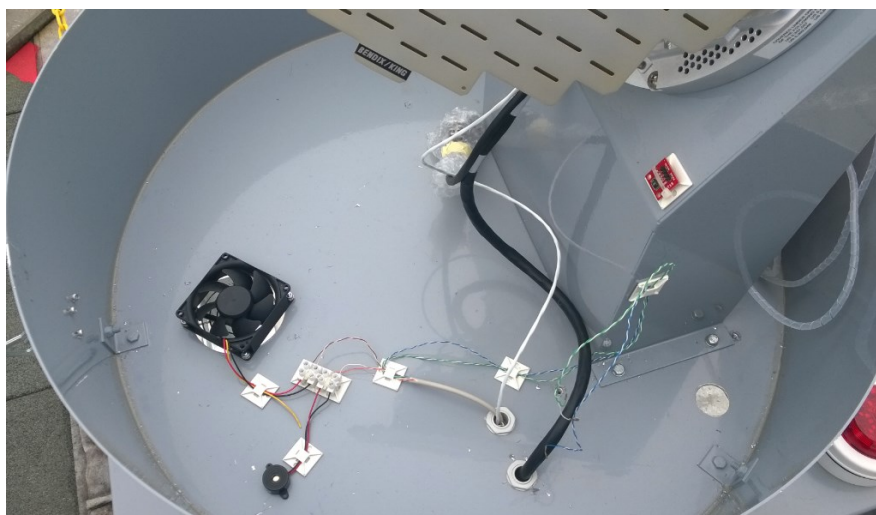
odstraněn přístup na střechu, z důvodu nového objektu na střeše, který zatím nebyl pokryt školením a v té době ani v provozu. Přístup byl možný pouze za doprovodu techniků JLL.

K tomu aby mohl být palubní meteorologický radar odzkoušen, musí být dodělány bezpečnostní prvky na střeše budovy.



Obr. 4.4: Stůl umístěný na střeše budovy

Vyznačení nebezpečného operačního laloku bylo provedeno červenou barvou, pomocí čáry směřující od zadní části stolu pod úhlem 60° až k okraji střechy, tedy dále než je nebezpečná hranice 3m (obr. 4.4). Kromě pozemního značení byl tento úsek oplocen červeno-bílým řetízkem. Dále na stůl byli v rozích umístěny a uchyceny pomocí šroubových spojů dva varovné led diodové majáky. Z důvodu dřívější indikace jsou tyto majáky spouštěny při zapnutí napájení palubního meteorologického radaru. Vně radomu byl dále instalován piezoměnič a sada prvků udržující soubor operačních podmínek, jako je ventilátor, teplotní a vlhkostní čidlo SHT 15 (obr. 4.5).



Obr. 4.5: Ventilátor, piezoměnič, teplotní a vlhkostní čidlo SHT 15

Palubní meteorologický radar byl umístěn do radomu a přichycen šroubovými spoji na nakloněnou rovinu. Následně byla ukotvená anténa, tomu však předcházelo důkladné očištění vyzařovací vrstvy a odjištění radarového systému zadáním unifikovaného kódu na externím přepínači, který se nachází přímo vně palubního meteorologického radaru.

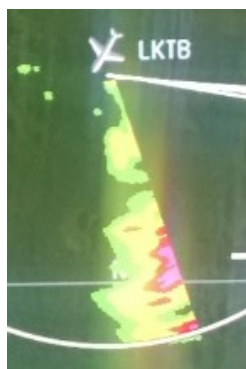


Obr. 4.6: Palubní meteorologický radar

Palubní meteorologický radar byl přikryt radomem, a nastaven do módu StandBy došlo k rozsvícení majáku. Následně byli testovány maximální vychylovací úhly, zda nedochází ke kontaktu antény s radomem a dále byl také aktivován tzv. testovací mód. Nebyli zatím objeveny žádné chyby.

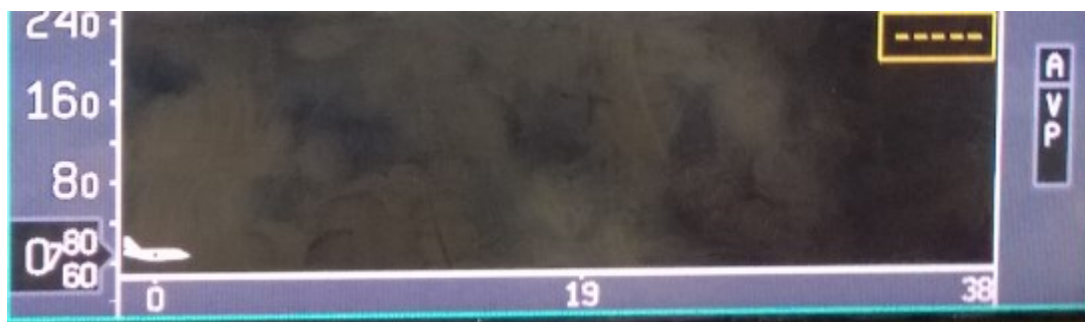
Přešlo se do módu WX, a ač se v danou chvíli nevyskytovali žádné významné meteorologické jevy nad jihozápadní částí republiky, byli zjištěné tři příčiny.

Pokud palubní meteorologický radar byl vychýlen do levé krajní polohy a vertikální úhel snížen o 15° z původní polohy. Radar v této poloze zobrazoval ve vzdálenosti 10 NM velké bouřkové segmenty s turbulentním prouděním (obr. 4.7).



Obr. 4.7: Překážka v radarovém perimetru

Naměřená data také nebylo možné zobrazit na PFD druhého pilota. Vertikální skenování nebylo možné vůbec načíst (obr. 4.8).



Obr. 4.8: Vertikální profil na MFD

Chybovost způsobenou překážkou v zorném poli, se podařilo ošetřit přechodem módu z plného laterálního skenování na sektorové skenování. Sektorovým skenováním se vytvořila 60° výseč, která nebyla nijak narušována. Za nepříznivého počasí bylo možné pozorovat srážky které relativně shodně s údaji od Českého hydrometeorologického ústavu (obr. 4.9). Frontální systém, který postupoval s jihozápadní částí České Republiku směrem na sever, severo-východ byl evidentní na zobrazovací jednotce.



Obr. 4.9: Porovnání zobrazení srážek RDR 2100 a CHMI

Příčina závady v zobrazování údajů na PFD druhého pilota byla vyloučena softwarová závada, příčina se musela nacházet v propojení palubního meteorologického radaru se SITS benchem. Pouhým okem bylo zjištěno nedoléhání pinu určeného pro přenos informací na PFD druhého pilota z palubního meteorologického radaru. Proběhlo řádné zacvaknutí pinů do konektoru a závada byla ošetřena.

Závada zobrazení vertikálního skenování meteorologických jevů je způsobena pravděpodobně testovací fází softwaru.

4.1. Realizace testovacího plánu

Testovací plán byl realizován v týdnu od 11. 4. 2016 do 15. 4. 2016 a dle testovací osnovy (Kapitola 3.7.) byli pozorovány tyto výsledky. V průběhu testování nebylo využito přepínací jednotky a testování probíhalo, přímo mezi APEX DFZ SITS benchem a palubním meteorologickým radarem.

Dosavadní meteorologické podmínky, které panovali na území, kde je meteoradar instalovaný, nemají vliv na jeho celkovou konstrukci. Dále se nepovažuje za proveditelné, aby extrémní meteorologické podmínky narušili jeho konstrukci.

V případě, kdy je ovládací systém palubního meteorologického radaru přenastaven do módu StandBy, je aktivován piezoměnič, který třikrát vydá výstražný zvukový signál v podobě hlasitého tónu. Paralelně je také po celou dobu provozu aktivováno výstražné světelné zařízení s jasným červeným stroboskopovým zábleskem. Nebezpečné území je ohrazeno viditelným značením, které znemožňuje přístup do tohoto místa. Bezpečnostní zásady byly vloženy do školicích materiálu pro přístup na střechu budovy. Na bezpečnostním systému nebyli zaznamenány žádné nedostatky.

U vibračního testování byli prováděny pohyblivé a nárazové zkoušky, stanovisko bylo vyhodnoceno vizuálním způsobem. Zde lze upozornit na stojiny stolu, jejichž hliníková konstrukce do písmene L je poměrně slabá, a však pro tyto účely dostačující. Stojiny jsou pevně spojeny šroubovými spoji s betonovým dlažebními kostkami, které zamezují vzniku vibrací, a odolávají bočnímu nárazu.

Aby bylo možné aktivní chlazení otestovat muselo být docíleno snížení prahu aktivování ventilátoru na 25°C. Teplotní čidlo SHT 15 bylo zahráto na >25°C a ventilátor byl automaticky spuštěn.

V následujícím textu bude popsána druhá část testovacího plánu.

Po zapnutí přepínací jednotky dochází k napájení palubního meteorologického radaru a systém se přenastaví do módu StandBy nezávisle na otočném voliči ve středové konzoli MFC. Při zapnutí této přepínací jednotky se spustí i řídicí systém Arduino, který řídí snímače a výstražné systémy. Napájení nekolísá a je stabilní.

Testování módu. Jeli přepínací jednotka vypnutá tak, také v módě off se nachází palubní meteorologický radar. Při spouštění přepínací jednotky se radar přepne automaticky

do módu StandBy a při přechodu otočným ovladačem na MFC z módu off do módu Standby si zažádá daný SITS bench o obsluhu radaru. Radar bude obsloužen daným SITS benchem pokud na externím přepínači nebude stanoveno jinak.

Testování pohyblivosti určuje, zda palubní meteorologický radar do cíl všech maximálních úhlů. Pro vizuální kontrolu probíhaly testy při odklopeném i zakrytém meteoradaru. Pokud byl radom odklopen byla vizuálně sledována změna úhlu anténního systému v závislosti indikátoru na MFD. Jakmile je palubní meteorologický radar uzavřen radomem, je pozorováno, zda maximální výchylky anténního systému nekolidují s radomem a nebrání tak dalšímu vychýlení. Anténní systém palubního meteorologického radaru je schopen docílit požadovaných maximálních výchylek.

V různých režimech skenování bylo testováno chování palubního meteorologického radaru. V sektorovém skenování je určena 60° výseč a anténní systém rychleji vykresluje a aktualizovává obrazec na zobrazovací jednotce. Plné skenování skenuje výseč o rozsahu 120° , jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, při manuálním snížení vertikálního náklon na hodnotu -15° dochází k odražení elektromagnetických vln od budovy a tím k zobrazení bouřkových a turbulentních segmentů v této lokalitě. Napříč této zdánlivě nevýhodě byl požadavek od aplikačního týmu mít právě v perimetru palubního meteorologického radaru plochu, která bude vždy odrážet signál, aby se mohlo vždy konstatovat, že je radar funkční. Při testování bylo zjištěno, že ale tato velká odrazivost patrně ovlivňuje zaznamenanou meteorologickou situaci v okolí tohoto rušení. Systém automatického postupného skenování mění náklon po 3° a vykresluje perimetr i vertikální profil v celém rozsahu.

Data z palubního meteorologického radaru je možno zobrazovat na horním a dolním MFD, levém a pravém PFD, ale na MFD při zobrazení vertikálního profilu srážek nedochází k jejímu vykreslování (obr. 4.8).

Při testování maximálního dosahu palubního meteorologického radaru není možné docílit takového rozsahu, jako je uvedeno ve specifikacích radaru. Je to z důvodu umístění palubního meteorologického radaru na střeše budovy. Při testování bylo docíleno maximálního dosahu pouze 60 NM.

Pokud pro testování využijeme simulovaného letu a tzv. automatické stabilizace je v režimu stoupání nebo klesání udržován horizontální směr vyzařování elektromagnetického signálu tak, aby přijaté echo signály nepřijímali při klesání odrazy od ze země. Tento to jev je možné uskutečnit až do 15° stoupání nebo klesání. Vzhledem k situaci, že palubní meteorologický radar je instalován na střeše budovy, je jakýkoli simulovaný let jiným kurzem, než je směřován radar neadekvátní vůči letěnému kurzu.

4.2. Možné budoucí poruchy

Pro cirkulaci vzduchu vně radomu byli vyvrtané otvory, které cirkulaci umožňují, ale je pravděpodobné že v horkých dnech tyto otvory využijí jako své útočiště pro zahnízdění Vosy obecné. Není jasné, co však udělají s tímto organismem silné elektromagnetické vlny. Přepínací jednotka je sestavena z integrovaných obvodů, není zde prostor pro poruchy.

4.3. Dosažení cílů

V rámci diplomové práce byli sjednány schůze s různými subjekty a byli tak seskupeny požadavky potřebné k dosažení cílů. Tyto požadavky byly implementovány a dle jejich znění byl vytvořen návrh, jehož finální podoba byla následně z realizována. Funkční řešení bylo dle testovacího plánu úspěšně otestováno a přivedeno do stavu, kdy je systém schopen každodenního provozu tak, aby byla zachována bezpečnost zaměstnanců v budově. Součástí této práce byla i úspěšná realizace přepínací jednotky včetně příslušenství pro provoz palubního meteorologického radaru.

4.4. Využití projektu

V současné době je možnost využití reálných meteorologických dat pro testování avioniky Apex zapsána do databáze. Ačkoli poptávka po této výhodě zatím ještě moc nenarůstá, je otázkou času, kdy se tento benefit dozví širší veřejnost.

4.5. Další vývoj projektu

Při realizaci tohoto projektu bylo dbáno na možnost rozšíření o jiný podstatně sofistikovanější palubní meteorologický radar. Například v rámci návrhu stolu včetně radomu bylo podmínkou, ať jeho rozměry vyhovují rozměrům radaru RDR 4000, byla také zrealizovaná i nakloněná rovina pro tento palubní meteorologický radar. A však pokud bude v dohledné době instalace palubního meteorologického radaru provedena, bude muset být radar přemístěn pravděpodobně na střechu výtahové šachty. Z důvodu širšího operačního laloku.

4.6. Výsledné projektové kritéria

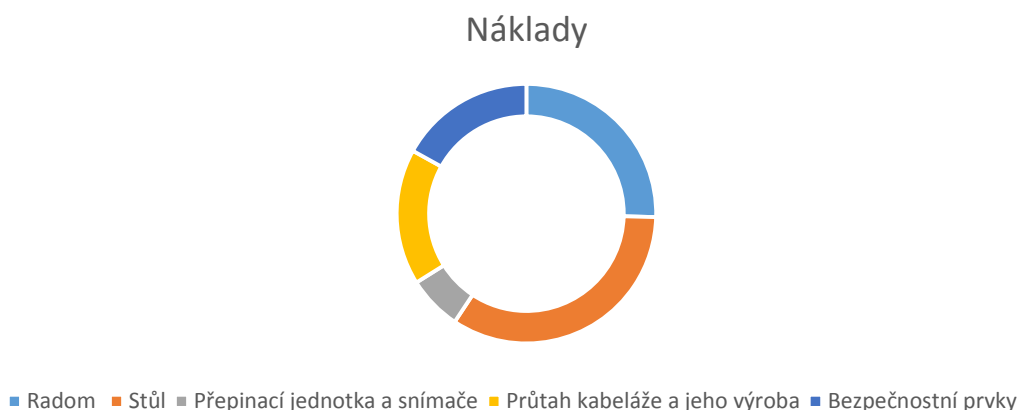
Tato kapitola navazuje na první kapitolu projektové řešení a popisuje graf ABM (obr. 4.10). Tento graf byl na týdenní bázi aktualizován a tím doplněn o reálný postup práce na projektu. Tento postup je indikován hnědou křivkou.



Obr. 4.10: Graf ABM

Z Grafu ABM je patrné, že práce na tomto projektu nezačínala od 0% z důvodu toho, že byli dopředu známy kontakty na společnost JLL. V prostřední části byla aktuální práce asi o 10% napřed vůči plánu to bylo způsobeno dřívějším dodání radomu a dle toho se mohlo rychleji začít pracovat na návrhu stolu. Poslední část grafu ABM zobrazuje pokles aktuální práce vůči plánu. Tato situace nastala kvůli přeplánování počtu hodin pro výrobu přepínací jednotky. Podcenění tohoto problému vedlo k návalu práce v poslední části projektu.

Graf níže udává pouze informativní náklady na jednotlivé části vůči celku. Z Grafu je evidentní, že náklady pro zhotovení stolu byli největší.



Obr. 4.11: Graf indikující finanční náklady

5. Závěr

Díky tomu, že nikdo se zatím nepokusil životu nebezpečné zařízení umístit na střechu dané budovy, nebylo jednoduché najít správný postup a identifikovat tak počet kroků, které by bylo nutné pro získání povolení zástavby. A tak nebylo do poslední chvíle jisté, zda se palubní meteorologický radar podaří úspěšně umístit na střechu budovy.

Navržené a implementované řešení splňuje všechny požadavky kladené na instalaci palubního meteorologického radaru. V rámci instalace proběhl úspěšně konstrukční návrh i realizace speciálního stolu pro palubní meteorologický radar tak, aby vyhovoval i většímu a výkonnějšímu RDR 4000. Dále také byla vyvinuta přepínací jednotka, která úspěšně řeší skupinu požadavků.

Mezi možné vylepšení patří výběr jiné lokality pro umístění palubního meteorologického radaru, ideálně na výtahovou šachtu nebo mimo budovu a přenášet data přes síť nebo tyto data přenášet přes tzv. cloud computing.

Práce na projektu byla pro mě ideální náplní, mohl jsem využít své tvůrčí hardwarové i softwarové schopnosti a také využít znalosti o v oblasti avionických systému, projektového řízení a bezpečnostního managementu. Meteorologie je v každém časovém sledu jiná než kdy před tím, proto také věřím, že díky této možnosti mít k dispozici reálné meteorologické data k testování, vzniknou nové funkcionality, které umožní tyto jevy snímat efektivněji.

Závěrečná schůze proběhla v místnosti „Bombardier“ a také v laboratoři 3A, kde byla od prezentována funkčnost palubního meteorologického radaru a projekt byl tímto zdárně uzavřen.

Použitá literatura

- [1] Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15). *Sparkfun*. [Online] https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x_datasheet.pdf.
- [2] KING, BENDIX /. TECHNICAL CHARACTERISTICS. *Instalation Manual - RDR 2100 Color weather radar system*. Phoenix, AZ : Honeywell, 2010, p. 13.
- [3] ARINC 429 Protocol Tutorial. *Avionics interface technologies*. 3703 N. 200th Street, Omaha, NE 68022 : aviftech, p. 11.
- [4] Tyrbach, Ing. Jaromír. *Úbytek napětí ve stejnosměrné síti*. Ustí nad Orlicí : SPŠ SaE.
- [5] Topgis. Mapy.cz. *Seznam.cz* / *Topgis*. [Online] 2015. <https://mapy.cz/zakladni?x=16.6753484&y=49.1694456&z=19&base=ophoto&source=addr&id=11653681>.
- [6] TopGis. Mapy.cz. *Seznam.cz* / *TopGis*. [Online] 2015. <https://mapy.cz/zemepisna?x=16.6737606&y=49.1688564&z=17&source=addr&id=11653681>.
- [7] *Pilots Guide RDR 2100*. Phoenix, AZ : Honeywell, 2006.
- [8] Plán využití rádiového spektra. *CTU*. [Online] 2016. <https://www.ctu.cz/plan-vyuziti-radioveho-spektra>.
- [9] ITU. *CTU*. [Online] 2016. <http://www.ctu.cz/en/node/576>.
- [10] Protipožární ochrana staveb. *Dunamenti.cz*. [Online] <http://www.dunamenti.cz/images/dunafoam/1.jpg>.
- [11] Sbírka zákonů Česká Republika. [autor knihy] Ing. Tošovský. *Vyhláška o plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka)*. Praha : autor neznámý, 2010, str. 38.
- [12] *ITU Wolrd radiocommunication conference 2007*. Montreal, Canada : International Civil Aviation Organization, 13th September 2007. AERONAUTICAL COMMUNICATIONS PANEL (ACP) SEVENTEENTH MEETING OF WORKING GROUP F RADIO FREQUENCIES. str. 3.
- [13] CHMI. *Radarová síť CZRAD*. [Online] 2011. http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_czrad/.

- [14] WMO Seminar "Use of Radio Spectrum for Meteorology: Weather, Water and Climate Monitoring and Prediction". *ITU*. [Online] September 2009. http://www.itu.int/md/dologin_md.asp?id=R09-SEM.WMO-C-0018!!PDF-E.
- [15] Performance & Specs PC 12 NG. *Pilatus-aircraft*. [Online] 2016. <http://www.pilatus-aircraft.com/#13>.
- [16] Honeywell. *Primus Apex Integrated Avionics System for the Pilatus PC 12 NG*. Phoenix, AZ : Honeywell, 2010.
- [17] Petr Novák, Hana Kyznarová. *casopis.vesmir.cz. Meteorologické radary v České republice*. [Online] Prosinec 2015. <http://casopis.vesmir.cz/clanek/meteorologicke-radary-v-ceske-republice>.
- [18] Cohen, Lawrence. RADAR Transmitter Overview Tube and Solid State. *Radar Division Naval Research Laboratory*. [Online] <http://www.its.blrdoc.gov/media/31069/CohenRadarTxOverviewISART2011.pdf>.
- [19] GWX™ 70 - overview and specs. *Garmin.com*. [Online] 2016. <https://buy.garmin.com/en-US/US/in-the-air/avionics-safety/weather-solutions/gwx-70/prod116902.html>.
- [20] Turbulence Weather Radar Upgrade. *rockwellcollins*. [Online] January 2016. <https://www.rockwellcollins.com/~media/Files/Unsecure/Marketing%20Bulletins%20Rev1/BRS/MB-Turbulence%20Weather%20Radar.aspx>.
- [21] Bhat, KS. *A429 Specifications*. Phoenix, AZ, US : Honeywell, 2015.
- [22] Zisk a směrová charakteristika . *RC Eagle*. [Online] RC Eagle. <http://www.rc-eagleeye.cz/rc-eagleeye/0/0/2/93>.
- [23] Radar Physics. *Radar central*. [Online] <http://www.radar-central.com/empolarization.php>.
- [24] Domaci výroba plošných spojů fotocestou. *dhservices*. [Online] http://www.dhservis.cz/dalsi_1/pcb.htm.

Přílohy

Příloha A – Technický výkres Stolu a příruby.....	vloženo na DVD
Příloha B – Technický výkres Radomu.....	vloženo na DVD
Příloha C – Schéma plošných spojů přepínací jednotky.....	vloženo na DVD
Příloha D – Fotografie přepínací jednotky.....	vloženo na DVD
Příloha E – Zdrojový kód řídicího systému.....	vloženo na DVD